

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 10 月 20 日 (20.10.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/098916 A1

(51) 国際特許分類⁷: H01L 21/301, B23K
26/00, 26/04, B28D 5/00 // B23K 101:40

(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/005554

(22) 国際出願日: 2005 年 3 月 25 日 (25.03.2005)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2004-100933 2004 年 3 月 30 日 (30.03.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.)
[JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 坂本 剛志 (SAKAMOTO, Takeshi) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 福満 憲志 (FUKUMITSU, Kenshi) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

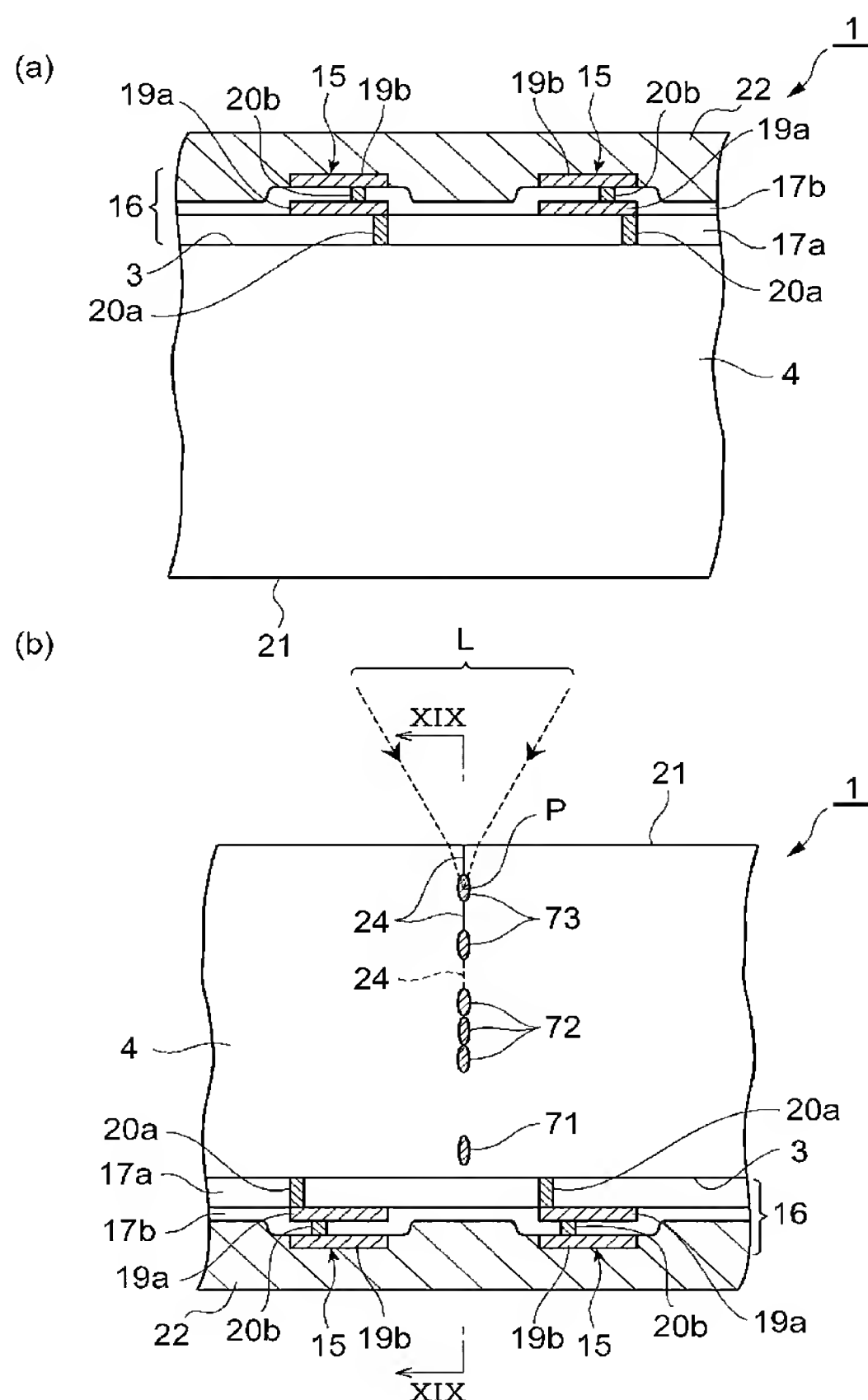
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目 1 0 番 6 号銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,

/ 続葉有 /

(54) Title: LASER PROCESSING METHOD AND SEMICONDUCTOR CHIP

(54) 発明の名称: レーザ加工方法及び半導体チップ



(57) Abstract: A laser processing method is provided for highly accurately cutting a board and a stacked part, even when the board whereupon the stacked part including a plurality of functional elements is formed is thick. In the laser processing method, a laser beam L is projected, having a rear plane (21) as a laser beam incidence plane, with a light collecting point P inside of a board (4), and modified areas (71, 72, 73) are formed inside the board (4). At this time, an HC modified area (73) is formed at a position between a cutting modified area (72) closest to the rear plane (21) and the rear plane (21), and a crack (24) along a cut planned line is generated from the HC modified area (73) to the rear plane (21). Thus, when an expand tape is adhered on the rear plane (21) of the board (4) and expanded, the crack smoothly advances from the board (4) to a stacked part (16) through the cutting modified area (72). As a result, the board (4) and the stacked part (16) can be accurately cut along the cut planned line.

(57) 要約: 複数の機能素子を含む積層部が形成された基板が厚い場合であっても、基板及び積層部の高精度な切断を可能にするレーザ加工方法を提供する。このレーザ加工方法では、裏面 21 をレーザ光入射面として基板 4 の内部に集光点 P を合わせてレーザ光 L を照射することで、改質領域 71, 72, 73 を基板 4 の内部に形成する。このとき、裏面 21 に最も近い分断改質領域 72 と裏面 21 との間の位置に HC 改質領域 73 を形成することで、切断予定ラインに沿った割れ 24 を HC 改質領域 73 から裏面 21 に生じさせている。これにより、エキスパンドテープを基板 4 の裏面 21 に貼り付けて拡張させると、分断改質領域 72 を介して基板 4 から積層部 16 へとスムーズに割れが進行することとなり、その結果、基板 4 及び積層部 16 を切断予定ラインに沿って精度良く切断することができる。



NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

レーザ加工方法及び半導体チップ

技術分野

- [0001] 本発明は、複数の機能素子を含む積層部が形成された基板を切断するために使用されるレーザ加工方法、及びそのようなレーザ加工方法の使用により切断された半導体チップに関する。

背景技術

- [0002] 従来におけるこの種の技術として、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することで、切断予定ラインに沿った改質領域を加工対象物の内部に複数列形成し、その改質領域を切断の起点とするというレーザ加工方法がある(例えば、特許文献1参照)。

特許文献1:特開2002-205180号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0003] 上述したようなレーザ加工方法は、加工対象物が厚い場合に特に有効となる技術である。このような技術に関連し、複数の機能素子を含む積層部が形成された基板を加工対象物とし、その基板が厚い場合にも、基板及び積層部の高精度な切断を可能にする技術が望まれていた。
- [0004] そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、複数の機能素子を含む積層部が形成された基板が厚い場合であっても、基板及び積層部の高精度な切断を可能にするレーザ加工方法、及びそのようなレーザ加工方法の使用により切断された半導体チップを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0005] 上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工方法は、複数の機能素子を含む積層部が表面に形成された基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することで、基板の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる改質領域を基板の内部に形成するレーザ加工方法であって、切断予定ラインに沿った第1の改質領域を複

数列形成する工程と、基板の裏面に最も近い第1の改質領域と裏面との間の位置に、切断予定ラインに沿った第2の改質領域を少なくとも1列形成することで、切断予定ラインに沿った割れを第2の改質領域から裏面に生じさせる工程とを含むことを特徴とする。

- [0006] このレーザ加工方法においては、例えば、エキスパンドテープ等の拡張可能フィルムを基板の裏面に貼り付けて拡張させると、切断予定ラインに沿った割れが第2の改質領域から基板の裏面に予め生じているため、第1の改質領域を介して基板から積層部へとスムーズに割れが進行することとなり、その結果、基板及び積層部を切断予定ラインに沿って精度良く切断することができる。従って、このレーザ加工方法は、複数の機能素子を含む積層部が形成された基板が厚い場合であっても、基板及び積層部の高精度な切断を可能にする。
- [0007] ここで、機能素子とは、例えば、結晶成長により形成された半導体動作層、フォトダイオード等の受光素子、レーザダイオード等の発光素子、回路として形成された回路素子等を意味する。なお、第1の改質領域及び第2の改質領域は、基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することで、多光子吸収或いはそれと同等の光吸収を基板の内部で生じさせることにより形成される。
- [0008] また、上記レーザ加工方法においては、基板は半導体基板であり、第1の改質領域及び第2の改質領域は溶融処理領域を含む場合がある。基板が半導体基板であると、第1の改質領域及び第2の改質領域として、溶融処理領域を含む改質領域が形成される場合がある。
- [0009] また、上記レーザ加工方法においては、第1の改質領域及び第2の改質領域は、裏面をレーザ光入射面として、裏面から遠い順に一系列ずつ形成されることが好ましい。これにより、各改質領域を形成するに際し、基板の裏面(レーザ光入射面)とレーザ光の集光点との間には改質領域が存在しないため、既に形成された改質領域によるレーザ光の散乱、吸収等が起こることはない。従って、各改質領域を精度良く形成することが可能になる。
- [0010] また、上記レーザ加工方法においては、第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは $2\mu\text{J}$ 〜 $50\mu\text{J}$ であることが好ましい。このような条件で第1の改質領

域を形成すると、基板及び積層部の切断時において、第1の改質領域を起点とした割れが切断予定ラインに沿って精度良く発生する傾向があるからである。なお、レーザ光のエネルギーが $2\mu\text{J}$ 未満になると、基板及び積層部の切断時において、第1の改質領域を起点とした割れが発生し難くなる。一方、レーザ光のエネルギーが $50\mu\text{J}$ を超えると、基板及び積層部の切断時において、第1の改質領域を起点とした割れが切断予定ラインから外れ易くなる。

[0011] また、上記レーザ加工方法においては、第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは $1\mu\text{J}$ 〜 $20\mu\text{J}$ であることが好ましい。このような条件で第2の改質領域を形成すると、第2の改質領域を起点とした割れが基板の裏面に確実に達する傾向があるからである。なお、レーザ光のエネルギーが $1\mu\text{J}$ 未満になると、第2の改質領域を起点とした割れが基板の裏面に達し難くなる。一方、レーザ光のエネルギーが $20\mu\text{J}$ を超えると、基板の裏面に溶融等の損傷が生じ易くなる。

[0012] また、上記レーザ加工方法においては、第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは、第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーより大きいことが好ましく、例えば、第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーを1とした場合、第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは 1.6 〜 3.0 であることが好ましい。このような条件で第1の改質領域を形成すると、基板及び積層部の切断時において、第1の改質領域を起点とした割れが切断予定ラインに沿って精度良く発生する傾向があるからである。なお、レーザ光のエネルギーが 1.6 未満になると、基板及び積層部の切断時において、第1の改質領域を起点とした割れが発生し難くなる。一方、レーザ光のエネルギーが 3.0 を超えると、基板及び積層部の切断時において、第1の改質領域を起点とした割れが切断予定ラインから外れ易くなる。

[0013] また、上記レーザ加工方法においては、隣り合う第1の改質領域のそれぞれを形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置間の距離は $24\mu\text{m}$ 〜 $70\mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件で第1の改質領域を形成すると、隣り合う第1の改質領域同士が基板の厚さ方向において一続きとなる傾向があり、その結果、基板が厚い場合であっても、基板及び積層部を容易に切断することが可能になるからである。ここで、距離とは、特に断りがない限り、基板の厚さ方向に沿っての距離を意味する(以

下、同じ)。

- [0014] また、上記レーザ加工方法においては、第1の改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の裏面からの距離は $50\mu\text{m} \sim [(\text{基板の厚さ}) \times 0.9]\mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件で第1の改質領域を形成すると、基板が厚い場合であっても、基板及び積層部を容易に切断することが可能になるからである。
- [0015] また、上記レーザ加工方法においては、第2の改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の裏面からの距離は $20\mu\text{m} \sim 110\mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件で第2の改質領域を形成すると、第2の改質領域を起点とした割れが基板の裏面に確実に達する傾向があるからである。なお、裏面からの距離が $20\mu\text{m}$ 未満になると、基板の裏面に溶融等の損傷が生じ易くなる。一方、裏面からの距離が $110\mu\text{m}$ を超えると、第2の改質領域を起点とした割れが基板の裏面に達し難くなる。
- [0016] また、上記レーザ加工方法においては、第2の改質領域を複数列形成する場合、第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは、基板の裏面に最も近い第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーより大きいことが好ましく、例えば、基板の裏面に最も近い第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーを1とすると、第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは1.3～3.3であることが好ましい。更に、第2の改質領域を複数列形成する場合、基板の裏面に最も近い第2の改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の裏面からの距離は $20\mu\text{m} \sim 110\mu\text{m}$ であり、基板の裏面に二番目に近い第2の改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の裏面からの距離は $140\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。これらによれば、基板の裏面に二番目に近い第2の改質領域を形成した際に、当該第2の改質領域の形成により生じた割れが基板の裏面近傍に到達しないため、基板の裏面に最も近い第2の改質領域を形成した際に、割れの内面が溶融することで粉塵が発生するのを防止することができる。
- [0017] また、上記レーザ加工方法においては、基板及び積層部を切断予定ラインに沿って切断する工程を更に含んでもよい。上述した理由から、複数の機能素子を含む積層部が形成された基板が厚い場合であっても、基板及び積層部を切断予定ラインに

沿って精度良く切断することができる。

- [0018] 更に、本発明に係る半導体チップは、基板と、機能素子を含んで基板の表面に形成された積層部とを備える半導体チップであって、基板の側面には、基板の厚さ方向において一続きとなるように、裏面に沿った第1の改質領域が複数列形成されており、側面において、裏面に最も近い第1の改質領域と裏面との間の位置には、裏面に沿った第2の改質領域が少なくとも1列形成されていることを特徴とする。
- [0019] この半導体チップは、上記レーザ加工方法の使用により切断されたものといえるため、第1の改質領域及び第2の改質領域が形成された基板の側面は、凹凸が抑制された高精度な切断面となっている。
- [0020] また、上記半導体チップにおいては、基板は半導体基板であり、第1の改質領域及び第2の改質領域は溶融処理領域を含む場合がある。基板が半導体基板であると、第1の改質領域及び第2の改質領域として、溶融処理領域を含む改質領域が形成される場合がある。
- [0021] また、上記半導体チップにおいては、対向する第1の改質領域の裏面側端部と第2の改質領域の表面側端部との距離は $15\ \mu\text{m}$ ～ $60\ \mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件で第1の改質領域及び第2の改質領域が形成されていると、基板及び積層部の切断時において、各改質領域を起点とした割れが切断予定ラインに沿って精度良く発生する傾向があり、半導体チップの基板の側面が高精度な切断面になるからである。なお、対向する第1の改質領域の裏面側端部と第2の改質領域の表面側端部との距離が $15\ \mu\text{m}$ 未満になると、基板及び積層部の切断時において各改質領域を起点とした割れが切断予定ラインから外れ易くなり、半導体チップの基板の側面が高精度な切断面になり難くなる。一方、対向する第1の改質領域の裏面側端部と第2の改質領域の表面側端部との距離が $60\ \mu\text{m}$ を超えると、基板及び積層部の切断時において第1の改質領域と第2の改質領域との相互作用が小さくなり、半導体チップの基板の側面が高精度な切断面になり難くなる。
- [0022] また、上記半導体チップにおいては、基板の厚さ方向における第1の改質領域の幅の合計は $40\ \mu\text{m}$ ～ $[(\text{基板の厚さ}) \times 0.9]\ \mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件で第1の改質領域が形成されていると、基板及び積層部の切断時において、第1

の改質領域を起点とした割れが切断予定ラインに沿って精度良く発生する傾向があり、半導体チップの基板の側面が高精度な切断面になるからである。なお、第1の改質領域の幅の合計が $40\mu\text{m}$ 未満になると、基板及び積層部の切断時において第1の改質領域を起点とした割れが発生し難くなり、半導体チップの基板の側面が高精度な切断面になり難くなる。一方、第1の改質領域の幅の合計が $[(\text{基板の厚さ}) \times 0.9]\mu\text{m}$ を超えると、基板及び積層部の切断時において第1の改質領域を起点とした割れが切断予定ラインから外れ易くなり、半導体チップの基板の側面が高精度な切断面になり難くなる。

発明の効果

- [0023] 本発明は、複数の機能素子を含む積層部が形成された基板が厚い場合であっても、基板及び積層部の高精度な切断を可能にする。

図面の簡単な説明

- [0024] [図1]本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工中の加工対象物の平面図である。
- [図2]図1に示す加工対象物のII-II線に沿っての断面図である。
- [図3]本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の加工対象物の平面図である。
- [図4]図3に示す加工対象物のIV-IV線に沿っての断面図である。
- [図5]図3に示す加工対象物のV-V線に沿っての断面図である。
- [図6]本実施形態に係るレーザ加工方法により切断された加工対象物の平面図である。
- [図7]本実施形態に係るレーザ加工方法における電界強度とクラックスポットの大きさとの関係を示すグラフである。
- [図8]本実施形態に係るレーザ加工方法の第1工程における加工対象物の断面図である。
- [図9]本実施形態に係るレーザ加工方法の第2工程における加工対象物の断面図である。
- [図10]本実施形態に係るレーザ加工方法の第3工程における加工対象物の断面図

である。

[図11]本実施形態に係るレーザ加工方法の第4工程における加工対象物の断面図である。

[図12]本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

[図13]本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

[図14]本実施形態のレーザ加工方法における加工対象物の平面図である。

[図15]図14に示す加工対象物のXV-XV線に沿っての部分断面図である。

[図16]本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図であり、(a)は、加工対象物に保護テープを貼り付けた状態、(b)は、加工対象物にレーザ光を照射している状態である。

[図17]本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図であり、(a)は、加工対象物にエキスパンドテープを貼り付けた状態、(b)は、保護テープに紫外線を照射している状態である。

[図18]本実施形態のレーザ加工方法を説明するための図であり、(a)は、加工対象物から保護テープを剥がした状態、(b)は、エキスパンドテープを拡張させた状態である。

[図19]図16(b)に示す加工対象物のXIX-XIX線に沿っての部分断面図である。

[図20]本実施形態のレーザ加工方法の使用により切断された基板の切断面の写真を表した図である。

[図21]HC改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の裏面からの距離を $40\mu\text{m}$ 、レーザ光のエネルギーを $20\mu\text{J}$ とした場合における基板の裏面の写真を表した図である。

[図22]HC改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の裏面からの距離を $15\mu\text{m}$ 、レーザ光のエネルギーを $10\mu\text{J}$ とした場合における基板の裏面の写真を表した図である。

[図23]品質改質領域の形成条件とスカート幅との関係を示す表である。

[図24]品質改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の表面からの距離を $3\mu\text{m}$ 、レーザ光のエネルギーを $15\mu\text{J}$ とした場合における基板の切断面の写真を表した図である。

[図25]本実施形態のレーザ加工方法の使用により切断された基板の切断面の写真を表した図である。

[図26]加工対象物を半導体チップに切断した際の平面図であり、(a)は、分断改質領域の形成において分断改質領域についての各種形成条件を満たしていない場合、(b)は、分断改質領域の形成において分断改質領域についての各種形成条件を満たしている場合である。

[図27]1列の品質改質領域、2列の分断改質領域、及び1列のHC改質領域が形成された基板の切断面の写真を表した図である。

[図28]1列の品質改質領域、2列の分断改質領域、及び2列のHC改質領域が形成された基板の切断面の写真を表した図である。

[図29]1列の品質改質領域、19領域の分断改質領域、及び2列のHC改質領域が形成された基板の切断面の写真を表した図である。

符号の説明

[0025] 1…加工対象物、3…表面、4…基板、4a…切断面(側面)、5…切断予定ライン、7…改質領域、8…切断起点領域、13…溶融処理領域、15…機能素子、16…積層部、21…裏面、24…割れ、25…半導体チップ、71…品質改質領域、72…分断改質領域(第1の改質領域)、73…HC改質領域(第2の改質領域)、L…レーザ光、P…集光点。

発明を実施するための最良の形態

[0026] 以下、本発明の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。本実施形態のレーザ加工方法では、加工対象物の内部に改質領域を形成するために多光子吸収という現象を利用する。そこで、最初に、多光子吸収により改質領域を形成するためのレーザ加工方法について説明する。

[0027] 材料の吸収のバンドギャップ E_G よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E_G$ である。しかし、光学的に透明

でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると $n h \nu > E_g$ の条件 ($n=2, 3, 4, \dots$) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度 (W/cm^2) で決まり、例えばピークパワー密度が $1 \times 10^8 (W/cm^2)$ 以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザ光の1パルス当たりのエネルギー) \div (レーザ光のビームスポット断面積 \times パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度 (W/cm^2) で決まる。

- [0028] このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工方法の原理について、図1～図6を参照して説明する。図1に示すように、ウェハ状(平板状)の加工対象物1の表面3には、加工対象物1を切断するための切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である。本実施形態に係るレーザ加工方法では、図2に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射して改質領域7を形成する。なお、集光点Pとは、レーザ光Lが集光する箇所のことである。また、切断予定ライン5は、直線状に限らず曲線状であってもよいし、仮想線に限らず加工対象物1に実際に引かれた線であってもよい。
- [0029] そして、レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って(すなわち、図1の矢印A方向に)相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように、改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部に形成され、この改質領域7が切断起点領域8となる。ここで、切断起点領域8とは、加工対象物1が切断される際に切断(割れ)の起点となる領域を意味する。この切断起点領域8は、改質領域7が連続的に形成されることで形成される場合もあるし、改質領域7が断続的に形成されることで形成される場合もある。
- [0030] 本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物1がレーザ光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するものではない。加工対象物1にレーザ光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lがほとんど吸収されないため、加工対象物1の表面3が溶融することはない。
- [0031] 加工対象物1の内部に切断起点領域8を形成すると、この切断起点領域8を起点と

して割れが発生し易くなるため、図6に示すように、比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に不必要な割れを発生させることなく、加工対象物1を高精度に切断することが可能になる。

[0032] この切断起点領域8を起点とした加工対象物1の切断には、次の2通りが考えられる。1つは、切断起点領域8形成後、加工対象物1に人為的な力が印加されることにより、切断起点領域8を起点として加工対象物1が割れ、加工対象物1が切断される場合である。これは、例えば加工対象物1の厚さが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物1の切断起点領域8に沿って加工対象物1に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物1に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の1つは、切断起点領域8を形成することにより、切断起点領域8を起点として加工対象物1の断面方向(厚さ方向)に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物1が切断される場合である。これは、例えば加工対象物1の厚さが小さい場合には、1列の改質領域7により切断起点領域8が形成されることで可能となり、加工対象物1の厚さが大きい場合には、厚さ方向に複数列形成された改質領域7により切断起点領域8が形成されることで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、切断起点領域8が形成されていない部位に対応する部分の表面3上にまで割れが先走ることがなく、切断起点領域8を形成した部位に対応する部分のみを切断することができるので、切断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の加工対象物1の厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい切断方法は大変有効である。

[0033] さて、本実施形態に係るレーザ加工方法において、多光子吸収により形成される改質領域としては、次の(1)～(3)の場合がある。

[0034] (1)改質領域が1つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

加工対象物(例えばガラスや LiTaO_3 からなる圧電材料)の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上で且つパルス幅が $1 \mu\text{s}$ 以下の条件でレーザ光を照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物の表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収によ

る光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば $1 \times 10^{12} (\text{W}/\text{cm}^2)$ である。パルス幅は例えば1ns～200nsが好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザー熱加工研究会論文集(1998年、12月)の第23頁～第28頁の「固体レーザー高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

[0035] 本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は下記の通りである。

[0036] (A)加工対象物:パイレックス(登録商標)ガラス(厚さ $700 \mu\text{m}$)

(B)レーザー

光源:半導体レーザー励起Nd:YAGレーザー

波長:1064nm

レーザー光スポット断面積: $3.14 \times 10^{-8} \text{cm}^2$

発振形態:Qスイッチパルス

繰り返し周波数:100kHz

パルス幅:30ns

出力:出力<1mJ/パルス

レーザー光品質: TEM_{00}

偏光特性:直線偏光

(C)集光用レンズ

レーザー光波長に対する透過率:60パーセント

(D)加工対象物が載置される載置台の移動速度:100mm/秒

[0037] なお、レーザー光品質が TEM_{00} とは、集光性が高くレーザー光の波長程度まで集光可能を意味する。

[0038] 図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザー光がパルスレーザー光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザー光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分(クラックスポット)の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの

大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が100倍、開口数(NA)が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が50倍、開口数(NA)が0.55の場合である。ピークパワー密度が 10^{11} (W/cm²)程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなることが分かる。

[0039] 次に、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて、図8ー図11を参照して説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は1つ又は複数のクラックを含む領域である。このように形成されたクラック領域9が切断起点領域となる。図9に示すように、クラック領域9を起点として(すなわち、切断起点領域を起点として)クラックがさらに成長し、図10に示すように、クラックが加工対象物1の表面3と裏面21とに到達し、図11に示すように、加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物1の表面3と裏面21とに到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物1に力が印加されることにより成長する場合もある。

[0040] (2) 改質領域が熔融処理領域の場合

加工対象物(例えばシリコンのような半導体材料)の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²)以上で且つパルス幅が1 μ s以下の条件でレーザ光を照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に熔融処理領域が形成される。熔融処理領域とは一旦熔融後再固化した領域や、まさに熔融状態の領域や、熔融状態から再固化する状態の領域であり、相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、熔融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、熔融処理領域は例えば非晶

質シリコン構造である。電界強度の上限値としては、例えば $1 \times 10^{12} (\text{W}/\text{cm}^2)$ である。パルス幅は例えば1ns〜200nsが好ましい。

[0041] 本発明者は、シリコンウェハの内部で熔融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は次の通りである。

[0042] (A)加工対象物:シリコンウェハ(厚さ350 μm 、外径4インチ)

(B)レーザ

光源:半導体レーザ励起Nd:YAGレーザ

波長:1064nm

レーザ光スポット断面積: $3.14 \times 10^{-8} \text{cm}^2$

発振形態:Qスイッチパルス

繰り返し周波数:100kHz

パルス幅:30ns

出力:20 μJ /パルス

レーザ光品質:TEM₀₀

偏光特性:直線偏光

(C)集光用レンズ

倍率:50倍

N. A. :0.55

レーザ光波長に対する透過率:60パーセント

(D)加工対象物が載置される載置台の移動速度:100mm/秒

[0043] 図12は、上記条件でのレーザ加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ11の内部に熔融処理領域13が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域13の厚さ方向の大きさは100 μm 程度である。

[0044] 熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを説明する。図13は、レーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚さtが50 μm 、100 μm 、200 μm 、500 μm 、1000 μm の

各々について上記関係を示した。

[0045] 例えば、Nd:YAGレーザの波長である1064nmにおいて、シリコン基板の厚さが500 μm 以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザ光が80%以上透過することが分かる。図12に示すシリコンウェハ11の厚さは350 μm であるので、多光子吸収による熔融処理領域13はシリコンウェハ11の中心付近、つまり表面から175 μm の部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200 μm のシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザ光がシリコンウェハ11の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ11の内部でレーザ光が吸収されて、熔融処理領域13がシリコンウェハ11の内部に形成(つまりレーザ光による通常の加熱で熔融処理領域が形成)されたものではなく、熔融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第66集(2000年4月)の第72頁―第73頁の「ピコ秒パルスレーザによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

[0046] なお、シリコンウェハは、熔融処理領域によって形成される切断起点領域を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面とに到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、シリコンウェハに力が印加されることにより成長する場合もある。そして、切断起点領域からシリコンウェハの表面と裏面とに割れが自然に成長する場合には、切断起点領域を形成する熔融処理領域が熔融している状態から割れが成長する場合と、切断起点領域を形成する熔融処理領域が熔融している状態から再固化する際に割れが成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も熔融処理領域はシリコンウェハの内部のみに形成され、切断後の切断面には、図12のように内部にのみ熔融処理領域が形成されている。このように、加工対象物の内部に熔融処理領域によって切断起点領域を形成すると、切断時、切断起点領域ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、切断制御が容易となる。

[0047] (3)改質領域が屈折率変化領域の場合

加工対象物(例えばガラス)の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上で且つパルス幅が1ns以下の条件でレーザ光を照射す

る。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば $1 \times 10^{12} (\text{W}/\text{cm}^2)$ である。パルス幅は例えば1ns以下が好ましく、1ps以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザ熱加工研究会論文集(1997年、11月)の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザ照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

[0048] 以上、多光子吸収により形成される改質領域として(1)～(3)の場合を説明したが、ウェハ状の加工対象物の結晶構造やその劈開性などを考慮して切断起点領域を次のように形成すれば、その切断起点領域を起点として、より一層小さな力で、しかも精度良く加工対象物を切断することが可能になる。

[0049] すなわち、シリコンなどのダイヤモンド構造の単結晶半導体からなる基板の場合は、(111)面(第1劈開面)や(110)面(第2劈開面)に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。また、GaAsなどの閃亜鉛鉱型構造のIII-V族化合物半導体からなる基板の場合は、(110)面に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。さらに、サファイア(Al_2O_3)などの六方晶系の結晶構造を有する基板の場合は、(0001)面(C面)を主面として(1120)面(A面)或いは(1100)面(M面)に沿った方向に切断起点領域を形成するのが好ましい。

[0050] なお、上述した切断起点領域を形成すべき方向(例えば、単結晶シリコン基板における(111)面に沿った方向)、或いは切断起点領域を形成すべき方向に直交する方向に沿って基板にオリエンテーションフラットを形成すれば、そのオリエンテーションフラットを基準とすることで、切断起点領域を形成すべき方向に沿った切断起点領域を容易且つ正確に基板に形成することが可能になる。

[0051] 次に、本発明の好適な実施形態について説明する。図14は、本実施形態のレーザ加工方法における加工対象物の平面図であり、図15は、図14に示す加工対象物のXV-XV線に沿っての部分断面図である。

[0052] 図14及び図15に示すように、加工対象物1は、シリコンからなる厚さ $290 \mu\text{m}$ の基

板4と、複数の機能素子15を含んで基板4の表面3に形成された積層部16とを備えている。機能素子15は、基板4の表面3に積層された層間絶縁膜17aと、層間絶縁膜17a上に配置された配線層19aと、配線層19aを覆うように層間絶縁膜17a上に積層された層間絶縁膜17bと、層間絶縁膜17b上に配置された配線層19bとを有している。配線層19aと基板4とは、層間絶縁膜17aを貫通する導電性プラグ20aによって電氣的に接続され、配線層19bと配線層19aとは、層間絶縁膜17bを貫通する導電性プラグ20bによって電氣的に接続されている。

[0053] なお、機能素子15は、基板4のオリエンテーションフラット6に平行な方向及び垂直な方向にマトリックス状に多数形成されているが、層間絶縁膜17a, 17bは、基板4の表面3全体を覆うように隣り合う機能素子15, 15間に渡って形成されている。

[0054] 以上のように構成された加工対象物1を以下のようにして機能素子15毎に切断する。まず、図16(a)に示すように、積層部16を覆うように加工対象物1に保護テープ22を貼り付ける。続いて、図16(b)に示すように、基板4の裏面21を上方に向けて加工対象物1をレーザ加工装置の載置台(図示せず)上に固定する。このとき、積層部16が載置台に直接接触することが保護テープ22によって避けられるため、各機能素子15を保護することができる。

[0055] そして、隣り合う機能素子15, 15間を通るように切断予定ライン5を格子状に設定し(図14の破線参照)、裏面21をレーザ光入射面として基板4の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを多光子吸収が生じる条件で照射しながら、載置台の移動により切断予定ライン5に沿って集光点Pをスキャンする。

[0056] この切断予定ライン5に沿った集光点Pのスキャンを1本の切断予定ライン5に対して6回行うが、集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離を各回毎に変えることで、表面3側から順に、1列の品質改質領域71、3列の分断改質領域(第1の改質領域)72、及び2列のHC(ハーフカット)改質領域(第2の改質領域)73を切断予定ライン5に沿って基板4の内部に1列ずつ形成する(各改質領域71, 72, 73の形成条件等については後述する)。なお、基板4はシリコンからなる半導体基板であるため、各改質領域71, 72, 73は溶融処理領域である。

[0057] このように、各改質領域71, 72, 73を基板4の裏面21から遠い順に1列ずつ形成

することで、各改質領域71, 72, 73を形成するに際し、レーザ光入射面である裏面21とレーザ光Lの集光点Pとの間には改質領域が存在しないため、既に形成された改質領域によるレーザ光Lの散乱、吸収等が起こることはない。従って、各改質領域71, 72, 73を切断予定ライン5に沿って基板4の内部に精度良く形成することができる。また、基板4の裏面21をレーザ光入射面とすることで、積層部16の切断予定ライン5上にレーザ光Lを反射する部材(例えば、TEG)が存在しても、各改質領域71, 72, 73を切断予定ライン5に沿って基板4の内部に確実に形成することができる。

[0058] ここで、品質改質領域71の形成では、図19に示すように、基板4の表面3と品質改質領域71の表面側端部71aとの距離が $5\mu\text{m}$ 〜 $15\mu\text{m}$ となる位置に、或いは基板4の表面3と品質改質領域71の裏面側端部71bとの距離が $[(\text{基板4の厚さ}) \times 0.1]\mu\text{m}$ 〜 $[20 + (\text{基板4の厚さ}) \times 0.1]\mu\text{m}$ となる位置に品質改質領域71を1列形成する。また、分断改質領域72の形成では、基板4の厚さ方向において一続きとなるように分断改質領域72を3列形成する。更に、HC改質領域73の形成では、図16(b)に示すように、HC改質領域73を2列形成することで、切断予定ライン5に沿った割れ24をHC改質領域73から基板4の裏面21に生じさせる。なお、形成条件によっては、隣り合う分断改質領域72とHC改質領域73との間にも割れ24が生じる場合がある。

[0059] 各改質領域71, 72, 73を形成した後、図17(a)に示すように、加工対象物1の基板4の裏面21にエキスパンドテープ23を貼り付ける。続いて、図17(b)に示すように、保護テープ22に紫外線を照射して、その粘着力を低下させ、図18(a)に示すように、加工対象物1の積層部16から保護テープ22を剥がす。

[0060] 保護テープ22を剥がした後、図18(b)に示すように、エキスパンドテープ23を拡張させて、各改質領域71, 72, 73を起点として割れを生じさせ、基板4及び積層部16を切断予定ライン5に沿って切断すると共に、切断されて得られた各半導体チップ25を互いに離間させる。

[0061] 以上説明したように、上記レーザ加工方法においては、切断(割れ)の起点となる品質改質領域71、分断改質領域72及びHC改質領域73を切断予定ライン5に沿って基板4の内部に形成している。従って、上記レーザ加工方法は、複数の機能素子15

を含む積層部16が形成された基板4の厚さが $290\mu\text{m}$ というように厚い場合であっても、基板4及び積層部16の高精度な切断を可能にする。

[0062] 具体的には、上記レーザ加工方法においては、基板4の裏面21に最も近い分断改質領域72と裏面21との間の位置に、HC改質領域73を2列形成することで、切断予定ライン5に沿った割れ24をHC改質領域73から基板4の裏面21に生じさせている。これにより、エキスパンドテープ23を基板4の裏面21に貼り付けて拡張させると、厚さ方向において一続きとなるように3列形成された分断改質領域72を介して基板4から積層部16へとスムーズに割れが進行することとなり、その結果、基板4及び積層部16を切断予定ライン5に沿って精度良く切断することができる。

[0063] なお、基板4から積層部16へとスムーズに割れを進行させることができれば、分断改質領域72は3列に限定されない。一般的には、基板4が薄くなれば分断改質領域72の列数を減少させ、基板4が厚くなれば分断改質領域72の列数を増加させることになる。また、基板4から積層部16へとスムーズに割れを進行させることができれば、分断改質領域72は互いに離間していてもよい。更に、HC改質領域73から基板4の裏面21に割れ24を確実に生じさせることができれば、HC改質領域73は1列であってもよい。

[0064] また、上記レーザ加工方法においては、基板4の表面3と品質改質領域71の表面側端部71aとの距離が $5\mu\text{m}$ ～ $15\mu\text{m}$ となる位置に、或いは基板4の表面3と品質改質領域71の裏面側端部71bとの距離が $[(\text{基板4の厚さ}) \times 0.1]\mu\text{m}$ ～ $[20 + (\text{基板4の厚さ}) \times 0.1]\mu\text{m}$ となる位置に品質改質領域71を形成している。このような位置に品質改質領域71を形成すると、基板4の表面3に形成された積層部16(ここでは、層間絶縁膜17a, 17b)も切断予定ライン5に沿って精度良く切断することができる。

[0065] 以上のようなレーザ加工方法の使用により切断された半導体チップ25においては、図18(b)に示すように、各改質領域71, 72, 73が形成された基板4の切断面(側面)4a、及び積層部16の切断面(側面)16aは、凹凸が抑制された高精度な切断面となる。

[0066] 図20は、上記レーザ加工方法の使用により切断された基板4の切断面4aの写真を表した図である。上述したように、基板4はシリコンからなり、その厚さは $300\mu\text{m}$ であ

る。各改質領域71, 72, 73の形成条件は下記の表1の通りである。なお、表1において、集光点位置とは、レーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離を意味し、エネルギーとは、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーを意味する。また、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのパルス幅は180nsであり、切断予定ライン5に沿ってレーザ光Lが照射される際に1パルスのレーザ光Lが照射される位置(集光点Pが合わされる位置)の間隔(以下、レーザ光照射位置の間隔という)は4 μm である。

[0067] [表1]

	集光点位置 (μm)	エネルギー (μJ)
品質改質領域 7 1	267	15
分断改質領域 7 2 (表面 3 側)	196	20
分断改質領域 7 2	160	20
分断改質領域 7 2 (裏面 2 1 側)	125	20
H C 改質領域 7 3 (表面 3 側)	71	10
H C 改質領域 7 3 (裏面 2 1 側)	39	10

[0068] このとき、基板4の厚さ方向における品質改質領域71の幅は約20 μm 、各分断改質領域72の幅は約37 μm 、各HC改質領域73の幅は約20 μm であった。また、表面3と品質改質領域71の表面側端部71aとの距離は約7 μm 、対向する品質改質領域71の裏面側端部71bと分断改質領域72の表面側端部72aとの距離は約59 μm 、対向する分断改質領域72の裏面側端部72bとHC改質領域73の表面側端部73aとの距離は約24 μm であった。更に、各分断改質領域72は、基板4の厚さ方向において一続きとなるように形成されていた。

[0069] ところで、品質改質領域71の幅とは、品質改質領域71の表面側端部71aと裏面側端部71bとの距離を意味する(図19参照)。また、品質改質領域71の表面側端部71aとは、切断予定ライン5に沿って形成された品質改質領域71の表面3側の端部の「基板4の厚さ方向における平均的位置」を意味し、品質改質領域71の裏面側端部71bとは、切断予定ライン5に沿って形成された品質改質領域71の裏面21側の端部の「基板4の厚さ方向における平均的位置」を意味する。これらのことは、分断改質領

域72及びHC改質領域73についても同様である。

[0070] 次に、上述した各改質領域71, 72, 73の形成条件等について説明する。なお、以下の形成条件等は、基板4の厚さが150 μm 〜800 μm の場合に特に有効である。

[0071] (1) HC改質領域73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーについて

HC改質領域73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、下記の表2のデータから明らかなように、1 μJ 〜20 μJ であることが好ましい。より詳細には、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には1 μJ 〜10 μJ であることが好ましく、同透過率が15%以下の場合には2 μJ 〜20 μJ であることが好ましい。なお、透過率は、基板4の厚さが厚く、不純物の濃度が高い場合に著しく低下する。

[0072] このような条件でHC改質領域73を形成すると、HC改質領域73を起点とした割れ24が基板4の裏面21に確実に達する傾向があるからである。なお、レーザ光Lのエネルギーが1 μJ 未満になると、HC改質領域73を起点とした割れ24が基板4の裏面21に達し難くなる。一方、レーザ光Lのエネルギーが20 μJ を超えると、図21に示すように、基板4の裏面21に溶融等の損傷30が生じ易くなる。図21は、HC改質領域73を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離を40 μm 、レーザ光Lのエネルギーを25 μJ とした場合における基板4の裏面21の写真を表した図である。

[0073] [表2]

エネルギー (μJ)	0.5	1.0	2.0	2.5	5.0	10	15	20	25
透過率 30 % 以上	△	○	○	○	○	○	×	×	×
透過率 15 % 以下	×	△	○	○	○	○	○	○	×

低エネルギー側の「△」：割れ24が基板4の裏面21に達する部分と

達しない部分とが混在する場合

低エネルギー側の「×」：割れ24が基板4の裏面21に殆ど達しない場合

高エネルギー側の「×」：基板4の裏面21に溶融等の損傷が生じる場合

[0074] なお、表2のデータは、HC改質領域73を基板4の裏面21から20 μm 〜110 μm の範囲内に1列以上形成した場合のものである。

[0075] (2) 分断改質領域72を形成する際のレーザ光Lのエネルギーについて

分断改質領域72を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、下記の表3のデータから明らかなように、HC改質領域73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーを1とした場合、1.6～3.0であることが好ましい。より詳細には、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には1.6～3.0であることが好ましく、同透過率が15%以下の場合には2.3～3.0であることが好ましい。

[0076] このような条件で分断改質領域72を形成すると、基板4及び積層部16の切断時において、分断改質領域72を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く発生する傾向があるからである。なお、レーザ光Lのエネルギーが1.6未満になると、基板4及び積層部16の切断時において、分断改質領域72を起点とした割れが発生し難くなる。一方、レーザ光Lのエネルギーが3.0を超えると、基板4及び積層部16の切断時において、分断改質領域72を起点とした割れが切断予定ライン5から外れ易くなる。

[0077] [表3]

エネルギー比	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
透過率30%以上	×	×	×	×	△	○	○	○
透過率15%以下	×	×	×	×	×	×	×	×
エネルギー比	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	3.0	3.1	3.2
透過率30%以上	○	○	○	○	○	○	△	×
透過率15%以下	×	×	△	△	○	○	△	×

低エネルギー側の「△」: 切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

低エネルギー側の「×」: 過大な応力を印加しないと割れが発生せず、

切断品質が悪い場合

高エネルギー側の「△」: 切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

高エネルギー側の「×」: 切断面に欠けが生じる等、切断品質が悪い場合

[0078] また、分断改質領域72を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、下記の表4のデータから明らかなように、2μJ～50μJであることが好ましい。より詳細には、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には2μJ～20μJであることが好ましく(より好ましくは、2μJ～15μJ)、同透過率が15%以下の場合には3μJ～50μJであることが好ましい(より好ましくは、3μJ～45μJ)。透過率が15%以下の場合、レ

ーザ光Lのエネルギーの好適な範囲が広がっているが、これは、透過率が低くなればなるほど、改質領域を形成するためにより大きなエネルギーが必要となるからである。

[0079] このような条件で分断改質領域72を形成すると、基板4及び積層部16の切断時において、分断改質領域72を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く発生する傾向があるからである。なお、レーザ光Lのエネルギーが2μJ未満になると、基板4及び積層部16の切断時において、分断改質領域72を起点とした割れが発生し難くなる。一方、レーザ光Lのエネルギーが50μJを超えると、基板4及び積層部16の切断時において、分断改質領域72を起点とした割れが切断予定ライン5から外れ易くなる。

[0080] [表4]

エネルギー（μJ）	1.0	2.0	3.0	5.0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
透過率30%以上	×	○	○	○	○	○	△	×	×	×	×	×	×	×
透過率15%以下	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×

低エネルギー側の「△」：切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

低エネルギー側の「×」：過大な応力を印加しないと割れが発生せず、
切断品質が悪い場合

高エネルギー側の「△」：切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

高エネルギー側の「×」：切断面に欠けが生じる等、切断品質が悪い場合

[0081] (3)品質改質領域71を形成する際のレーザ光Lのエネルギーについて
品質改質領域71を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、下記の表5のデータから明らかなように、HC改質領域73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーを1とした場合において、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上のときには1.4〜1.9であることが好ましく、同透過率が15%以下のときには2.3〜3.0であることが好ましい。

[0082] このような条件で品質改質領域71を形成すると、基板4及び積層部16の切断時において、品質改質領域71を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く積層部16に達する傾向があるからである。なお、レーザ光Lのエネルギーが上記条件

を下回ると、基板4及び積層部16の切断時において、品質改質領域71を起点とした割れが切断予定ライン5から外れて積層部16に達し易くなる。一方、レーザ光Lのエネルギーが上記条件を上回ると、積層部16に溶融等の損傷が生じ易くなる。

[0083] [表5]

エネルギー比	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
透過率30%以上	×	×	△	○	○	○	○	○
透過率15%以下	×	×	×	×	×	×	×	×
エネルギー比	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	3.0	3.1	3.2
透過率30%以上	○	△	×	×	×	×	×	×
透過率15%以下	×	×	△	△	○	○	△	×

低エネルギー側の「△」: 切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

低エネルギー側の「×」: 過大な応力を印加しないと割れが発生せず、

切断品質が悪い場合

高エネルギー側の「△」: 積層部16に部分的に溶融等の損傷が生じる場合

高エネルギー側の「×」: 積層部16に溶融等の損傷が生じる場合

[0084] また、品質改質領域71を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、下記の表6のデータから明らかなように、2μJ〜50μJであることが好ましい。より詳細には、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には2μJ〜20μJであることが好ましく(より好ましくは、2μJ〜15μJ)、同透過率が15%以下の場合には3μJ〜50μJであることが好ましい(より好ましくは、3μJ〜45μJ)。

[0085] このような条件で品質改質領域71を形成すると、基板4及び積層部16の切断時において、品質改質領域71を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く積層部16に達する傾向があるからである。なお、レーザ光Lのエネルギーが2μJ未満になると、基板4及び積層部16の切断時において、品質改質領域71を起点とした割れが切断予定ライン5から外れて積層部16に達し易くなる。一方、レーザ光Lのエネルギーが50μJを超えると、積層部16に溶融等の損傷が生じ易くなる。

[0086] [表6]

エネルギー (μ J)	1.0	2.0	3.0	5.0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
透過率 30 % 以上	×	○	○	○	○	○	△	×	×	×	×	×	×	×
透過率 15 % 以下	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	×

低エネルギー側の「△」: 切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

低エネルギー側の「×」: 過大な応力を印加しないと割れが発生せず、

切断品質が悪い場合

高エネルギー側の「△」: 積層部 16 に部分的に溶融等の損傷が生じる場合

高エネルギー側の「×」: 積層部 16 に溶融等の損傷が生じる場合

[0087] (4) 分断改質領域72の形成位置について

隣り合う分断改質領域72のそれぞれを形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置間の距離は $24\mu\text{m}$ 〜 $70\mu\text{m}$ であることが好ましい。より詳細には、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には $30\mu\text{m}$ 〜 $70\mu\text{m}$ であることが好ましく、同透過率が15%以下の場合には $24\mu\text{m}$ 〜 $50\mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件で分断改質領域72を形成すると、隣り合う分断改質領域72、72同士が基板4の厚さ方向において一続きとなる傾向があり、その結果、基板4が厚い場合であっても、基板4及び積層部16を容易に切断することが可能になるからである。

[0088] また、分断改質領域72を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離は $50\mu\text{m}$ 〜 $[(\text{基板4の厚さ}) \times 0.9 (\text{好ましくは} 0.7)]\mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件で分断改質領域72を形成すると、基板4が厚い場合であっても、基板4及び積層部16を容易に切断することが可能になるからである。

[0089] なお、隣り合う分断改質領域72及びHC改質領域73を形成する場合、分断改質領域72を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置は、HC改質領域73を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置から基板4の表面3側に $30\mu\text{m}$ 〜 $100\mu\text{m}$ の範囲内にあることが好ましい。このとき、対向する分断改質領域72の裏面側端部とHC改質領域73の表面側端部との距離は $15\mu\text{m}$ 〜 $60\mu\text{m}$ (好ましくは、 $15\mu\text{m}$ 〜 $35\mu\text{m}$) となり、隣り合う分断改質領域72とHC改質領域73との間にも割れ24が生じ易くなるからである。

[0090] (5) HC改質領域73の形成位置について

HC改質領域73を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離は $20\mu\text{m}$ ～ $110\mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件でHC改質領域73を形成すると、HC改質領域73を起点とした割れ24が基板4の裏面21に確実に達する傾向があるからである。なお、裏面21からの距離が $20\mu\text{m}$ 未満になると、図22に示すように、基板4の裏面21に溶融等の損傷30が生じ易くなる。図22は、HC改質領域73を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離を $15\mu\text{m}$ 、レーザ光Lのエネルギーを $10\mu\text{J}$ とした場合における基板4の裏面21の写真を表した図である。一方、裏面21からの距離が $110\mu\text{m}$ を超えると、HC改質領域73を起点とした割れ24が基板4の裏面21に達し難くなる。なお、このとき、基板4の裏面21とHC改質領域73の裏面側端部との距離は $10\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$ となる。

[0091] (6) 対向する分断改質領域72の裏面側端部とHC改質領域73の表面側端部との距離について

対向する分断改質領域72の裏面側端部とHC改質領域73の表面側端部との距離は $15\mu\text{m}$ ～ $60\mu\text{m}$ であることが好ましく、 $15\mu\text{m}$ ～ $35\mu\text{m}$ であることがより好ましい。このような条件で分断改質領域72及びHC改質領域73を形成すると、基板4及び積層部26の切断時において、各改質領域72, 73を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く発生する傾向があり、半導体チップ25の基板4の切断面4aが高精度な切断面になるからである。なお、当該距離が $15\mu\text{m}$ 未満になると、基板4及び積層部16の切断時において各改質領域72, 73を起点とした割れが切断予定ライン5から外れ易くなり、半導体チップ25の基板4の切断面4aが高精度な切断面になり難くなる。一方、当該距離が $60\mu\text{m}$ を超えると、基板4及び積層部16の切断時において分断改質領域72とHC改質領域73との相互作用が小さくなり、半導体チップ25の基板4の切断面4aが高精度な切断面になり難くなる。

[0092] (7) 対向する品質改質領域71の裏面側端部と分断改質領域72の表面側端部との距離について

対向する品質改質領域71の裏面側端部と分断改質領域72の表面側端部との距離は $0\mu\text{m}$ ～ $[(\text{基板4の厚さ}) - (\text{基板4の厚さ}) \times 0.6]\mu\text{m}$ であることが好ましい。このような条件で品質改質領域71及び分断改質領域72を形成すると、基板4及び積

層部16の切断時において、各改質領域71, 72を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く発生する傾向があり、半導体チップ25の基板4の切断面4a及び積層部16の切断面16aが高精度な切断面になるからである。なお、当該距離が $[(\text{基板4の厚さ}) - (\text{基板4の厚さ}) \times 0.6] \mu\text{m}$ を超えると、基板4及び積層部16の切断時において品質改質領域71と分断改質領域72と間で半導体チップ25の基板4の切断面4aが高精度な切断面になり難くなる。また、当該距離を $0 \mu\text{m}$ とするのは、レーザー光Lの照射のみにより基板4を完全に切断するような場合である。

[0093] (8) 品質改質領域71の形成位置について

基板4の表面3と品質改質領域71の表面側端部との距離が $5 \mu\text{m} \sim 15 \mu\text{m}$ となる位置に、或いは基板4の表面3と品質改質領域71の裏面側端部との距離が $[(\text{基板4の厚さ}) \times 0.1] \mu\text{m} \sim [20 + (\text{基板4の厚さ}) \times 0.1] \mu\text{m}$ となる位置に品質改質領域71を形成することが好ましい。このような条件で品質改質領域71を形成すると、図23に示すように、スカート幅Sを $3 \mu\text{m}$ 以下に抑えることができ、基板4の表面3に形成された積層部16も切断予定ライン5に沿って精度良く切断することが可能だからである。

[0094] 更に、基板4の表面3と品質改質領域71の表面側端部との距離が $5 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ となる位置に品質改質領域71を形成すると、図23に示すように、スカート幅Sを $1 \mu\text{m}$ 以下に抑えることができ、基板4の表面3側の端部及び積層部16を切断予定ライン5に沿ってより一層精度良く切断することが可能になる。また、基板4の表面3と品質改質領域71の裏面側端部との距離については、当該距離が $[5 + (\text{基板4の厚さ}) \times 0.1] \mu\text{m} \sim [20 + (\text{基板4の厚さ}) \times 0.1] \mu\text{m}$ となる位置に品質改質領域71を形成することが好ましく、当該距離が $[5 + (\text{基板4の厚さ}) \times 0.1] \mu\text{m} \sim [10 + (\text{基板4の厚さ}) \times 0.1] \mu\text{m}$ となる位置に品質改質領域71を形成することがより好ましい。このような条件で品質改質領域71を形成すると、基板4の表面3側の端部及び積層部16を切断予定ライン5に沿ってより一層精度良く切断することが可能だからである。

[0095] なお、図23において、集光点位置とは、レーザー光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離を意味し、エネルギーとは、品質改質領域71を形成する際のレーザー光Lのエネルギーを意味する。また、裏面側端部位置とは、品質改質領域71の裏面

側端部の裏面21からの距離を意味し、幅とは、品質改質領域71の表面側端部と裏面側端部との距離を意味し、表面側端部位置とは、品質改質領域71の表面側端部の表面3からの距離を意味する。

[0096] また、基板4の表面3と品質改質領域71の表面側端部との距離が $5\mu\text{m}$ 未満になると、図24に示すように、基板4の表面3に溶融等の損傷30が生じ易くなる。図24は、品質改質領域71を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の表面3からの距離を $3\mu\text{m}$ 、レーザ光Lのエネルギーを $15\mu\text{J}$ とした場合における基板4の切断面の写真を表した図である。

[0097] (9)各改質領域71, 72, 73の幅について

基板4の厚さ方向におけるHC改質領域73の幅(HC改質領域73を複数列形成する場合には幅の合計)は $110\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。このような条件でHC改質領域73を形成すると、HC改質領域73から基板4の裏面21に達する亀裂24が切断予定ライン5に沿って精度良く形成される傾向があるからである。なお、HC改質領域73の幅が $110\mu\text{m}$ を超えると、HC改質領域73から基板4の裏面21に達する亀裂24が切断予定ライン5から外れ易くなる。

[0098] また、基板4の厚さ方向における分断改質領域72の幅の合計は $40\mu\text{m}$ ～[(基板4の厚さ) $\times 0.9$] μm であることが好ましい。このような条件で分断改質領域72を形成すると、基板4及び積層部16の切断時において、分断改質領域72を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く発生する傾向があり、半導体チップ25の基板4の切断面4aが高精度な切断面になるからである。なお、分断改質領域72の幅の合計が $40\mu\text{m}$ 未満であると、基板4及び積層部16の切断時において分断改質領域72を起点とした割れが発生し難くなり、半導体チップ25の基板4の切断面4aが高精度な切断面になり難くなる。一方、分断改質領域72の幅の合計が[(基板4の厚さ) $\times 0.9$] μm を超えると、基板4及び積層部16の切断時において分断改質領域72を起点とした割れが切断予定ライン5から外れ易くなり、半導体チップ25の基板4の切断面4aが高精度な切断面になり難くなる。

[0099] また、基板4の厚さ方向における品質改質領域71の幅は[(基板4の厚さ) $\times 0.1$] μm 以下であることが好ましい。このような条件で品質改質領域71を形成すると、基

板4及び積層部16の切断時において、品質改質領域71を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く積層部16に達する傾向があるからである。なお、品質改質領域71の幅が $[(\text{基板4の厚さ}) \times 0.1] \mu\text{m}$ を超えると、基板4及び積層部16の切断時において、品質改質領域71を起点とした割れが切断予定ライン5から外れて積層部16に達し易くなる。

[0100] 次に、図25に関する加工結果について説明する。

[0101] 図25は、上記レーザ加工方法の使用により切断された基板4の切断面4aの写真を表した図である。上述したように、基板4はシリコンからなり、その厚さは $290 \mu\text{m}$ である。各改質領域71, 72, 73の形成条件は下記の表7の通りである。なお、表7において、集光点位置とは、レーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離を意味し、エネルギーとは、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーを意味する。また、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのパルス幅は 150ns であり、切断予定ライン5に沿ってレーザ光Lが照射される際に1パルスのレーザ光Lが照射される位置(集光点Pが合わされる位置)の間隔(以下、レーザ光照射位置の間隔という)は $3.75 \mu\text{m}$ である。

[0102] [表7]

	集光点位置 (μm)	エネルギー (μJ)
品質改質領域 7 1	275	7
分断改質領域 7 2 (表面 3 側)	228	14
分断改質領域 7 2	194	14
分断改質領域 7 2 (裏面 2 1 側)	165	14
H C 改質領域 7 3 (表面 3 側)	104	14
H C 改質領域 7 3 (裏面 2 1 側)	57	9

[0103] このとき、基板4の厚さ方向における品質改質領域71の幅は約 $22 \mu\text{m}$ 、各分断改質領域72の幅は約 $33 \mu\text{m}$ 、表面3側のHC改質領域73の幅は約 $28 \mu\text{m}$ 、裏面21側のHC改質領域73の幅は約 $20 \mu\text{m}$ であった。また、表面3と品質改質領域71の表面側端部71aとの距離は約 $8 \mu\text{m}$ 、対向する品質改質領域71の裏面側端部71bと分断改質領域72の表面側端部72aとの距離は約 $25 \mu\text{m}$ 、対向する分断改質領域

72の裏面側端部72bとHC改質領域73の表面側端部73aとの距離は約 $25\mu\text{m}$ であった。更に、各分断改質領域72は、基板4の厚さ方向において一続きとなるように形成されていた。

- [0104] 以上のように改質層を形成することで、図20に比べて表面3側のHC改質領域73から延びる亀裂に段差が生じる(この段差により割断面が均一な面にならない)ことを抑制することができる。そして、亀裂による段差により裏面21側のHC改質領域73形成時のレーザ入射により割断面に溶融溜まりを生じさせ、これが大きな粉塵となることを防止することができる。
- [0105] このための条件として、図20の実施例では表面3側のHC改質領域73と裏面21側のHC改質領域73を形成する際のレーザ光のエネルギーを同じにしていたが、本実施例では、表面3側のHC改質領域73を形成する際のレーザ光のエネルギーは、裏面21側のHC改質領域73を形成する際のレーザ光のエネルギーより大きくしている。
- [0106] そして、この場合においては、表面3側のHC改質領域73を形成する際のレーザ光のエネルギーを、前述した分断改質領域72を形成する際のレーザ光Lのエネルギー条件と同様の条件とする。すなわち、 $2\mu\text{J}$ 〜 $50\mu\text{J}$ であることが好ましい。より詳細には、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には $2\mu\text{J}$ 〜 $20\mu\text{J}$ であることが好ましく(より好ましくは、 $2\mu\text{J}$ 〜 $15\mu\text{J}$)、同透過率が15%以下の場合には $3\mu\text{J}$ 〜 $50\mu\text{J}$ であることが好ましい(より好ましくは、 $3\mu\text{J}$ 〜 $45\mu\text{J}$)。
- [0107] また、裏面21側のHC改質領域73のエネルギーを1としたときの表面3側のHC改質領域73を形成する際のレーザ光のエネルギーを、後述する分断改質領域72を形成する際のレーザ光Lのエネルギー条件(=HC改質領域73のエネルギーを1としたときの分断改質領域72を形成する際のレーザ光のエネルギー条件)と同様の条件とする。
- [0108] すなわち、裏面21側のHC改質領域73のエネルギーを1としたときの表面3側のHC改質領域73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、1.3〜3.3であることが好ましい。より詳細には、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には1.3〜3.0であることが好ましく、同透過率が15%以下の場合には1.5〜3.3で

あることが好ましい。

[0109] (10)分断改質領域72を形成する際のレーザ光LのエネルギーとHC改質領域73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーとの関係について

HC改質領域73を複数列形成する場合、分断改質領域72を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、下記の表8のデータから明らかなように、基板4の裏面21に最も近いHC改質領域73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーを1とすると、分断改質領域72を形成する際のレーザ光のエネルギーは1. 3〜3. 3であることが好ましい。より詳細には、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には1. 3〜3. 0であることが好ましく、同透過率が15%以下の場合には1. 5〜3. 3であることが好ましい。

[0110] このような条件でHC改質領域73を複数列形成すると、基板4の裏面21に二番目に近いHC改質領域73を形成した際に、当該HC改質領域73の形成により生じた割れ24が基板4の裏面21近傍に到達しないため、基板4の裏面21に最も近いHC改質領域73を形成した際に、割れ24の内面が溶融することで粉塵が発生するのを防止することができる。

[0111] [表8]

エネルギー比	1. 0	1. 1	1. 3	1. 4	1. 5	1. 6	1. 7	1. 8
透過率 3 0 % 以上	×	×	○	○	○	○	○	○
透過率 1 5 % 以下	×	×	×	△	○	○	○	○
エネルギー比	1. 9	2. 0	2. 1	2. 2	2. 3	3. 0	3. 1	3. 2
透過率 3 0 % 以上	○	○	○	○	○	○	×	×
透過率 1 5 % 以下	○	○	○	○	○	○	○	○
エネルギー比	3. 3	3. 4	3. 5	3. 6				
透過率 3 0 % 以上	×	×	×	×				
透過率 1 5 % 以下	○	△	×	×				

低エネルギー側の「△」: 切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

低エネルギー側の「×」: 過大な応力を印加しないと割れが発生せず、

切断品質が悪い場合

高エネルギー側の「△」: 切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

高エネルギー側の「×」: 切断面に欠けが生じる等、切断品質が悪い場合

- [0112] (11)品質改質領域71を形成する際のレーザ光Lのエネルギーについて
- 品質改質領域71を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、下記の表9のデータから明らかなように、裏面21側のHC改質領域73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーを1とした場合において、基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上のときには0.6〜1.9であることが好ましく、同透過率が15%以下のときには0.6〜3.0であることが好ましい。
- [0113] このような条件で品質改質領域71を形成すると、基板4及び積層部16の切断時において、品質改質領域71を起点とした割れが切断予定ライン5に沿って精度良く積層部16に達する傾向があるからである。なお、レーザ光Lのエネルギーが上記条件を下回ると、基板4及び積層部16の切断時において、品質改質領域71を起点とした割れが切断予定ライン5から外れて積層部16に達し易くなる。一方、レーザ光Lのエネルギーが上記条件を上回ると、積層部16に溶融等の損傷が生じ易くなる。

[0114] [表9]

エネルギー比		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
透過率30%以上		×	×	△	○	○	○	○
透過率15%以下		×	×	△	○	○	○	○
エネルギー比	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
透過率30%以上	○	○	○	○	○	○	○	○
透過率15%以下	○	○	○	○	○	○	○	○
エネルギー比	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	3.0	3.1	3.2
透過率30%以上	○	△	×	×	×	×	×	×
透過率15%以下	○	○	○	○	○	○	△	×

低エネルギー側の「△」: 切断品質の良い部分と悪い部分とが混在する場合

低エネルギー側の「×」: 過大な応力を印加しないと割れが発生せず、
切断品質が悪い場合

高エネルギー側の「△」: 積層部16に部分的に溶融等の損傷が生じる場合

高エネルギー側の「×」: 積層部16に溶融等の損傷が生じる場合

- [0115] なお、品質改質領域71を形成する際のレーザ光Lのエネルギーは、前述の表6のデータと同様である。すなわち、2μJ〜50μJであることが好ましい。より詳細には、

基板4におけるレーザ光Lの透過率が30%以上の場合には $2\mu\text{J}$ ～ $20\mu\text{J}$ であることが好ましく(より好ましくは、 $2\mu\text{J}$ ～ $15\mu\text{J}$)、同透過率が15%以下の場合には $3\mu\text{J}$ ～ $50\mu\text{J}$ であることが好ましい(より好ましくは、 $3\mu\text{J}$ ～ $45\mu\text{J}$)。

[0116] (12)HC改質領域73を複数列形成する場合における各HC改質領域73の形成位置について

HC改質領域73を複数列形成する場合、基板4の裏面21に最も近いHC改質領域73を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離は $20\mu\text{m}$ ～ $110\mu\text{m}$ であり、基板4の裏面21に二番目に近いHC改質領域73を形成する際にレーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離は $140\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0117] このような条件でHC改質領域73を複数列形成すると、基板4の裏面21に二番目に近いHC改質領域73を形成した際に、当該HC改質領域73の形成により生じた割れ24が基板4の裏面21近傍に到達しないため、基板4の裏面21に最も近いHC改質領域73を形成した際に、割れ24の内面が溶融することで粉塵が発生するのを防止することができる。

[0118] 以上、各改質領域71, 72, 73の形成条件等について説明したが、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのパルス幅は 500ns 以下が好ましく、 10ns ～ 300ns がより好ましい(更に好ましくは、 100ns ～ 300ns)。また、レーザ光照射位置の間隔は $0.1\mu\text{m}$ ～ $10\mu\text{m}$ であることが好ましい。レーザ光照射位置の間隔は、レーザの繰り返し周波数とレーザ光の移動速度とから適宜設定することが可能である。

[0119] また、分断改質領域72の形成において、上述した分断改質領域72についての各種形成条件を満たしていないと、図26(a)に示すように、加工対象物1が半導体チップ25に切断されない部分が生じてしまう。一方、上述した分断改質領域72についての各種形成条件を満たしていると、図26(b)に示すように、加工対象物1の全体が半導体チップ25に確実に切断される。

[0120] 本発明は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、上記実施形態は、基板4の内部で多光子吸収を生じさせて各改質領域71, 72, 73を形成する場合であったが、基板4の内部で多光子吸収と同等の光吸収を生じさせて各改質領域71,

72, 73を形成することができる場合もある。

[0121] また、上記実施形態は、積層部16側から順に、1列の品質改質領域71、3列の分断改質領域72、及び2列のHC改質領域73を基板4の内部に形成する場合であったが、次のように各改質領域71, 72, 73を基板4の内部に形成してもよい。

[0122] 例えば、図27に示すように、基板4の表面3側から順に、1列の品質改質領域71、2列の分断改質領域72、及び1列のHC改質領域73を基板4の内部に形成してもよい。ここで、基板4はシリコンからなり、その厚さは200 μm である。各改質領域71, 72, 73の形成条件は下記の表10の通りである。なお、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのパルス幅は150nsであり、レーザ光照射位置の間隔は4 μm である。

[0123] [表10]

	集光点位置 (μm)	エネルギー (μJ)
品質改質領域 7 1	167	15
分断改質領域 7 2 (表面 3 側)	121	20
分断改質領域 7 2 (裏面 2 1 側)	71	20
H C 改質領域 7 3	39	10

[0124] また、図28に示すように、基板4の表面3側から順に、1列の品質改質領域71、2列の分断改質領域72、及び2列のHC改質領域73を基板4の内部に形成してもよい。ここで、基板4はシリコンからなり、その厚さは300 μm である。各改質領域71, 72, 73の形成条件は下記の表11の通りである。なお、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのパルス幅は150nsであり、レーザ光照射位置の間隔は、品質改質領域71で4 μm 、分断改質領域72(表面3側)で1 μm 、分断改質領域72(裏面21側)で4 μm 、HC改質領域73(表面3側)で4 μm 、HC改質領域73(裏面21側)で4 μm である。

[0125] [表11]

	集光点位置 (μ m)	エネルギー (μ J)
品質改質領域 7 1	256	15
分断改質領域 7 2 (表面 3 側)	153	20
分断改質領域 7 2 (裏面 2 1 側)	121	20
H C 改質領域 7 3 (表面 3 側)	71	10
H C 改質領域 7 3 (裏面 2 1 側)	39	10

[0126] 更に、図29に示すように、基板4の表面3側から順に、1列の品質改質領域71、19列の分断改質領域72、及び2列のHC改質領域73を基板4の内部に形成してもよい。ここで、基板4はシリコンからなり、その厚さは725 μ mである。各改質領域71, 72, 73の形成条件は下記の表12の通りである。なお、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのパルス幅は150nsであり、レーザ光照射位置の間隔は4 μ mである。

[0127] [表12]

	集光点位置 (μ m)	エネルギー (μ J)
品質改質領域 7 1	644	15
分断改質領域 7 2 (表面 3 側)	641	20
分断改質領域 7 2	612	20
分断改質領域 7 2	584	20
分断改質領域 7 2	555	20
分断改質領域 7 2	527	20
分断改質領域 7 2	498	20
分断改質領域 7 2	470	20
分断改質領域 7 2	441	20
分断改質領域 7 2	413	20
分断改質領域 7 2	384	20
分断改質領域 7 2	356	20
分断改質領域 7 2	328	20
分断改質領域 7 2	299	20
分断改質領域 7 2	271	20
分断改質領域 7 2	242	20
分断改質領域 7 2	214	20
分断改質領域 7 2	185	20
分断改質領域 7 2	157	20
分断改質領域 7 2 (裏面 2 1 側)	121	20
II C 改質領域 7 3 (表面 3 側)	71	10
H C 改質領域 7 3 (裏面 2 1 側)	39	10

[0128] なお、表10～表12において、集光点位置とは、レーザ光Lの集光点Pを合わせる位置の裏面21からの距離を意味し、エネルギーとは、各改質領域71, 72, 73を形成する際のレーザ光Lのエネルギーを意味する。

産業上の利用可能性

[0129] 本発明は、複数の機能素子を含む積層部が形成された基板が厚い場合であっても、基板及び積層部の高精度な切断を可能にする。

請求の範囲

- [1] 複数の機能素子を含む積層部が表面に形成された基板の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射することで、前記基板の切断予定ラインに沿って、切断の起点となる改質領域を前記基板の内部に形成するレーザ加工方法であって、
前記切断予定ラインに沿った第1の改質領域を複数列形成する工程と、
前記基板の裏面に最も近い前記第1の改質領域と前記裏面との間の位置に、前記切断予定ラインに沿った第2の改質領域を少なくとも1列形成することで、前記切断予定ラインに沿った割れを前記第2の改質領域から前記裏面に生じさせる工程とを含むことを特徴とするレーザ加工方法。
- [2] 前記基板は半導体基板であり、前記第1の改質領域及び前記第2の改質領域は熔融処理領域を含むことを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。
- [3] 前記第1の改質領域及び前記第2の改質領域は、前記裏面をレーザ光入射面として、前記裏面から遠い順に一つずつ形成されることを特徴とする請求項1又は2記載のレーザ加工方法。
- [4] 前記第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは $2\mu\text{J}$ ～ $50\mu\text{J}$ であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項記載のレーザ加工方法。
- [5] 前記第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは $1\mu\text{J}$ ～ $20\mu\text{J}$ であることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項記載のレーザ加工方法。
- [6] 前記第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは、前記第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーより大きいことを特徴とする請求項1～5のいずれか一項記載のレーザ加工方法。
- [7] 前記第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーを1とした場合、前記第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは1.6～3.0であることを特徴とする請求項6記載のレーザ加工方法。
- [8] 隣り合う前記第1の改質領域のそれぞれを形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置間の距離は $24\mu\text{m}$ ～ $70\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1～7のいずれか一項記載のレーザ加工方法。
- [9] 前記第1の改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の前記裏

面からの距離は $50\ \mu\text{m} \sim [(\text{前記基板の厚さ}) \times 0.9]\ \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1～8のいずれか一項記載のレーザ加工方法。

[10] 前記第2の改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の前記裏面からの距離は $20\ \mu\text{m} \sim 110\ \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1～8のいずれか一項記載のレーザ加工方法。

[11] 前記第2の改質領域を複数列形成する場合、前記第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは、前記基板の裏面に最も近い前記第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーより大きいことを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。

[12] 前記第2の改質領域を複数列形成する場合、前記基板の裏面に最も近い前記第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーを1とすると、前記基板の裏面から最も遠い前記第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは1.3～3.3であることを特徴とする請求項11記載のレーザ加工方法。

[13] 前記第2の改質領域を複数列形成する場合、前記基板の裏面に最も近い前記第2の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーを1とすると、前記第1の改質領域を形成する際のレーザ光のエネルギーは1.3～3.3であることを特徴とする請求項11記載のレーザ加工方法。

[14] 前記第2の改質領域を複数列形成する場合、前記基板の裏面に最も近い前記第2の改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の前記裏面からの距離は $20\ \mu\text{m} \sim 110\ \mu\text{m}$ であり、前記基板の裏面に二番目に近い前記第2の改質領域を形成する際にレーザ光の集光点を合わせる位置の前記裏面からの距離は $140\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。

[15] 前記基板及び前記積層部を前記切断予定ラインに沿って切断する工程を更に含むことを特徴とする請求項1～14のいずれか一項記載のレーザ加工方法。

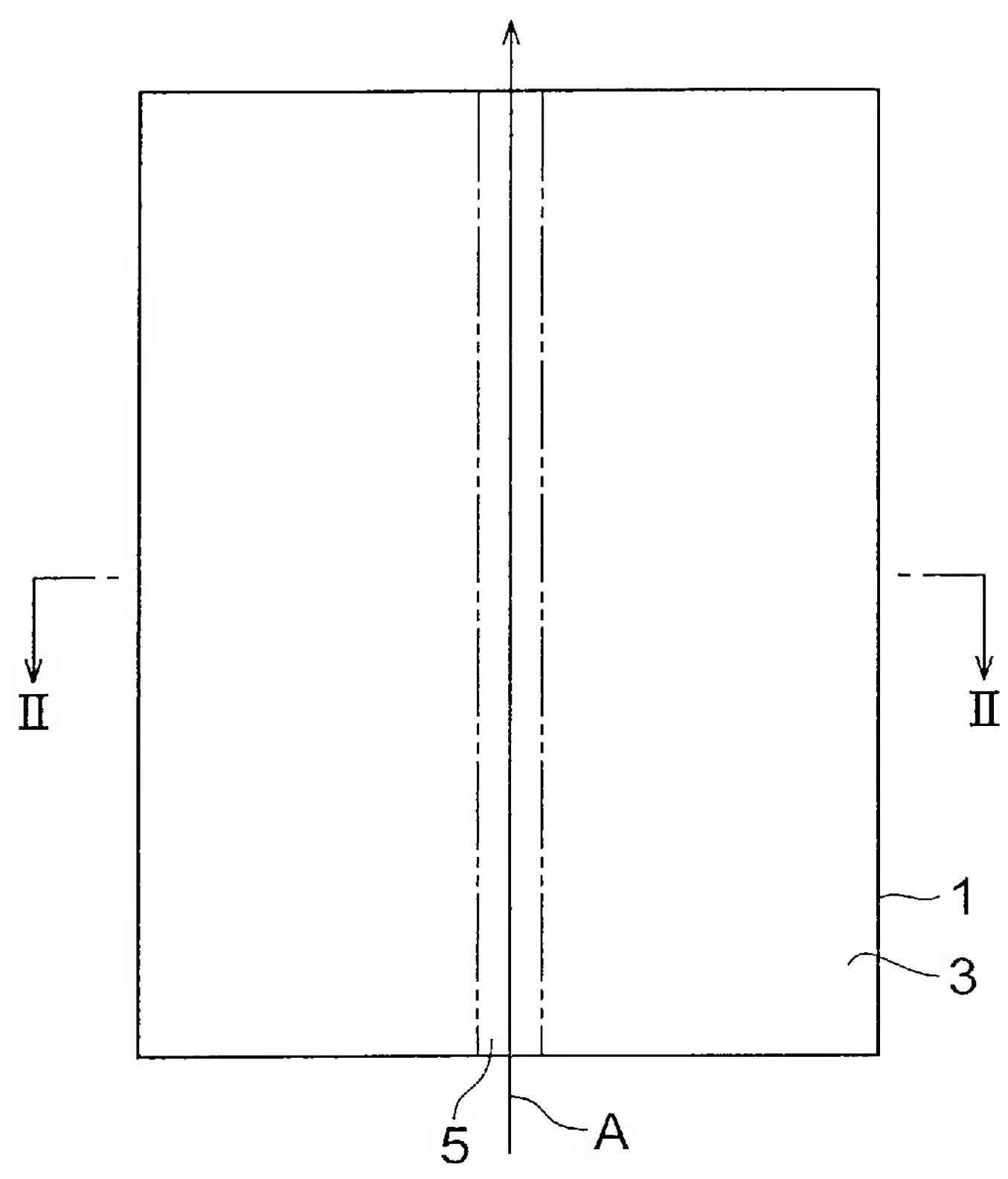
[16] 基板と、機能素子を含んで前記基板の表面に形成された積層部とを備える半導体チップであって、

前記基板の側面には、前記基板の厚さ方向において一続きとなるように、前記裏面に沿った第1の改質領域が複数列形成されており、

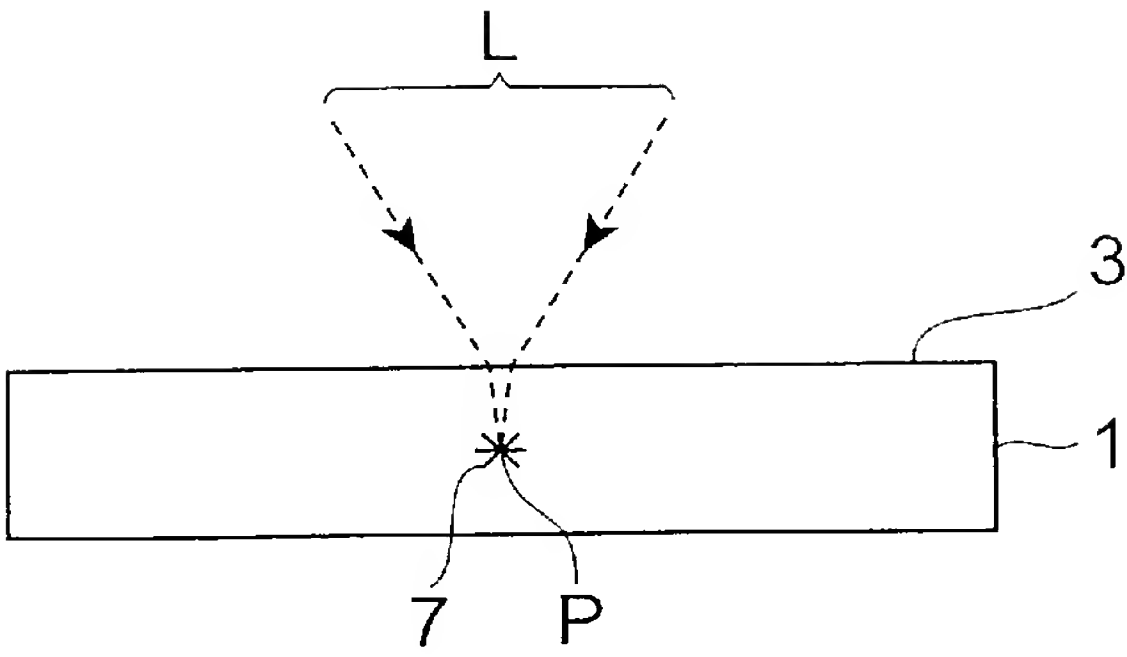
前記側面において、前記裏面に最も近い前記第1の改質領域と前記裏面との間の位置には、前記裏面に沿った第2の改質領域が少なくとも1列形成されていることを特徴とする半導体チップ。

- [17] 前記基板は半導体基板であり、前記第1の改質領域及び前記第2の改質領域は熔融処理領域を含むことを特徴とする請求項16記載の半導体チップ。
- [18] 対向する前記第1の改質領域の裏面側端部と前記第2の改質領域の表面側端部との距離は $15\ \mu\text{m}$ ～ $60\ \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項16又は17記載の半導体チップ。
- [19] 前記基板の厚さ方向における前記第1の改質領域の幅の合計は $40\ \mu\text{m}$ ～[(前記基板の厚さ) $\times 0.9$] μm であることを特徴とする請求項16～18のいずれか一項記載の半導体チップ。

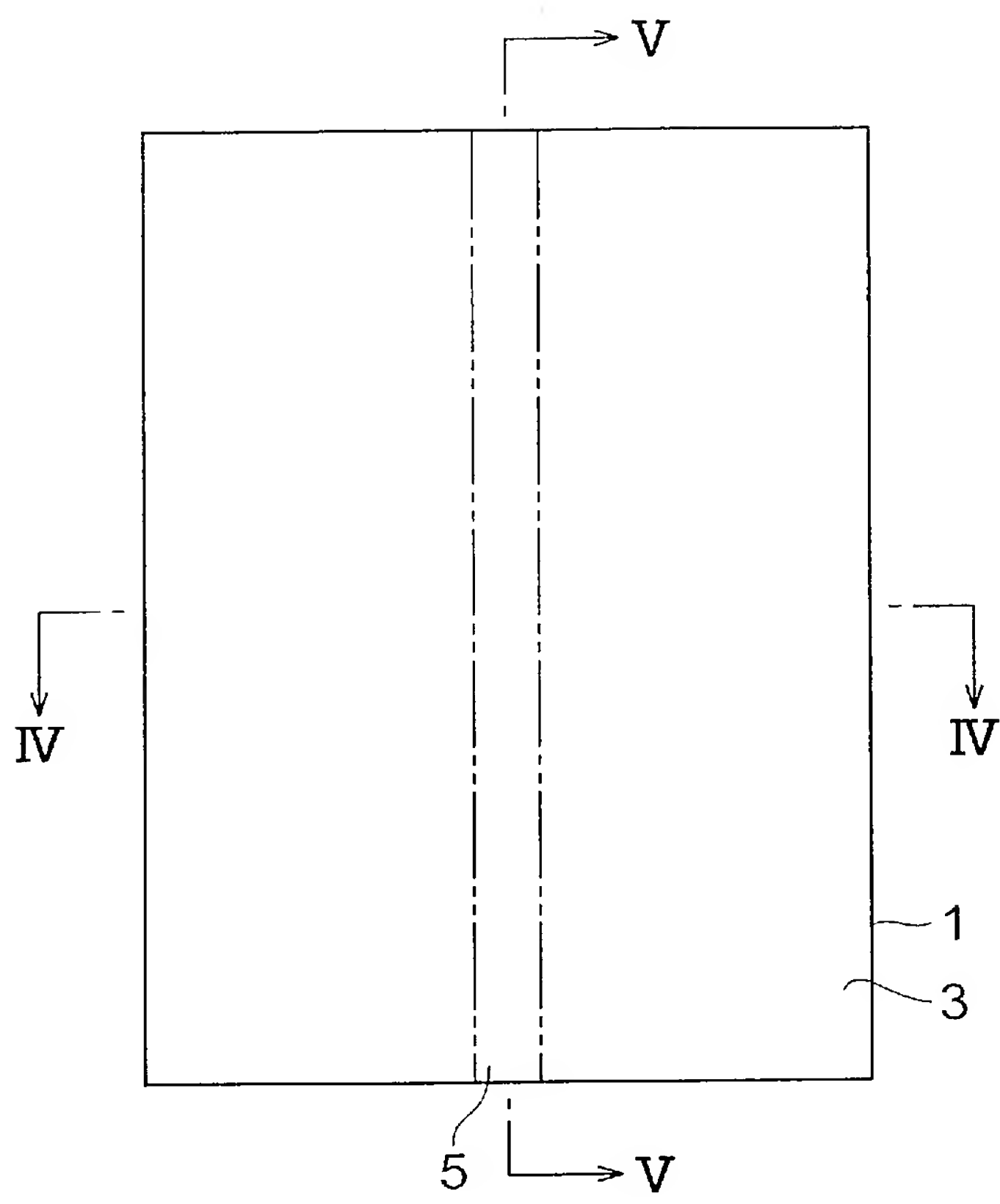
[図1]



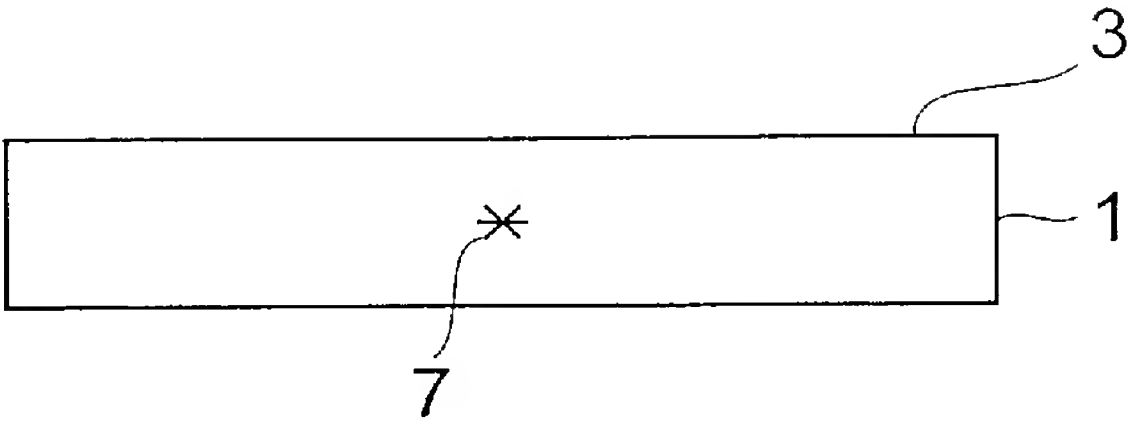
[図2]



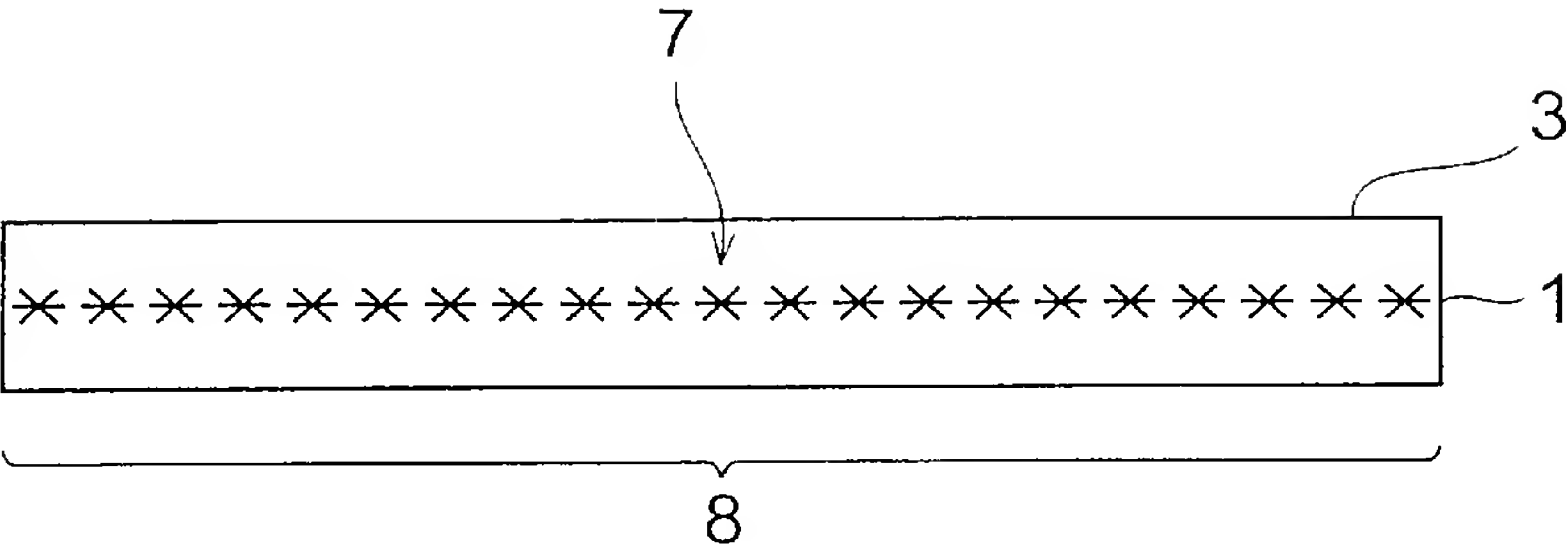
[図3]



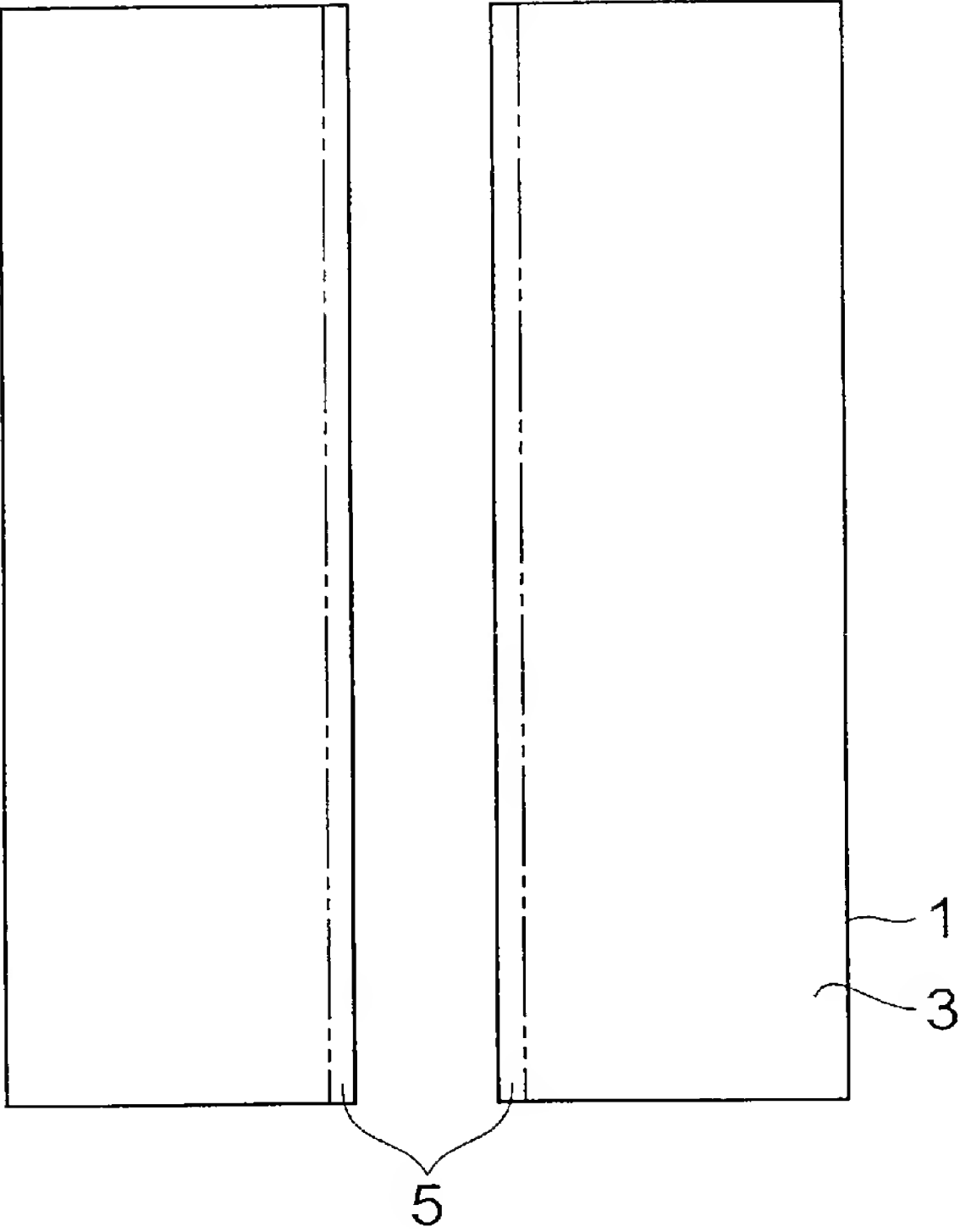
[図4]



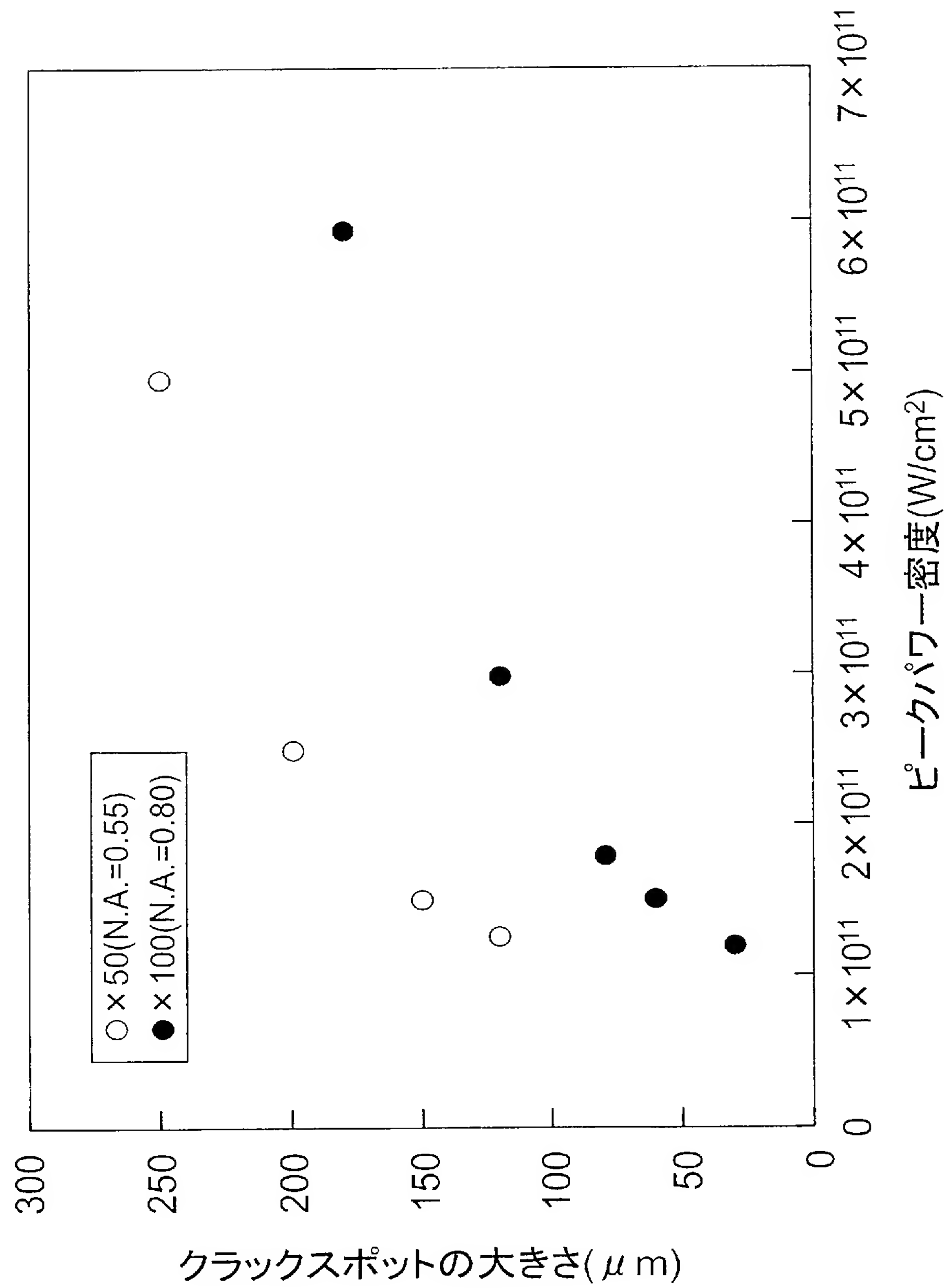
[図5]



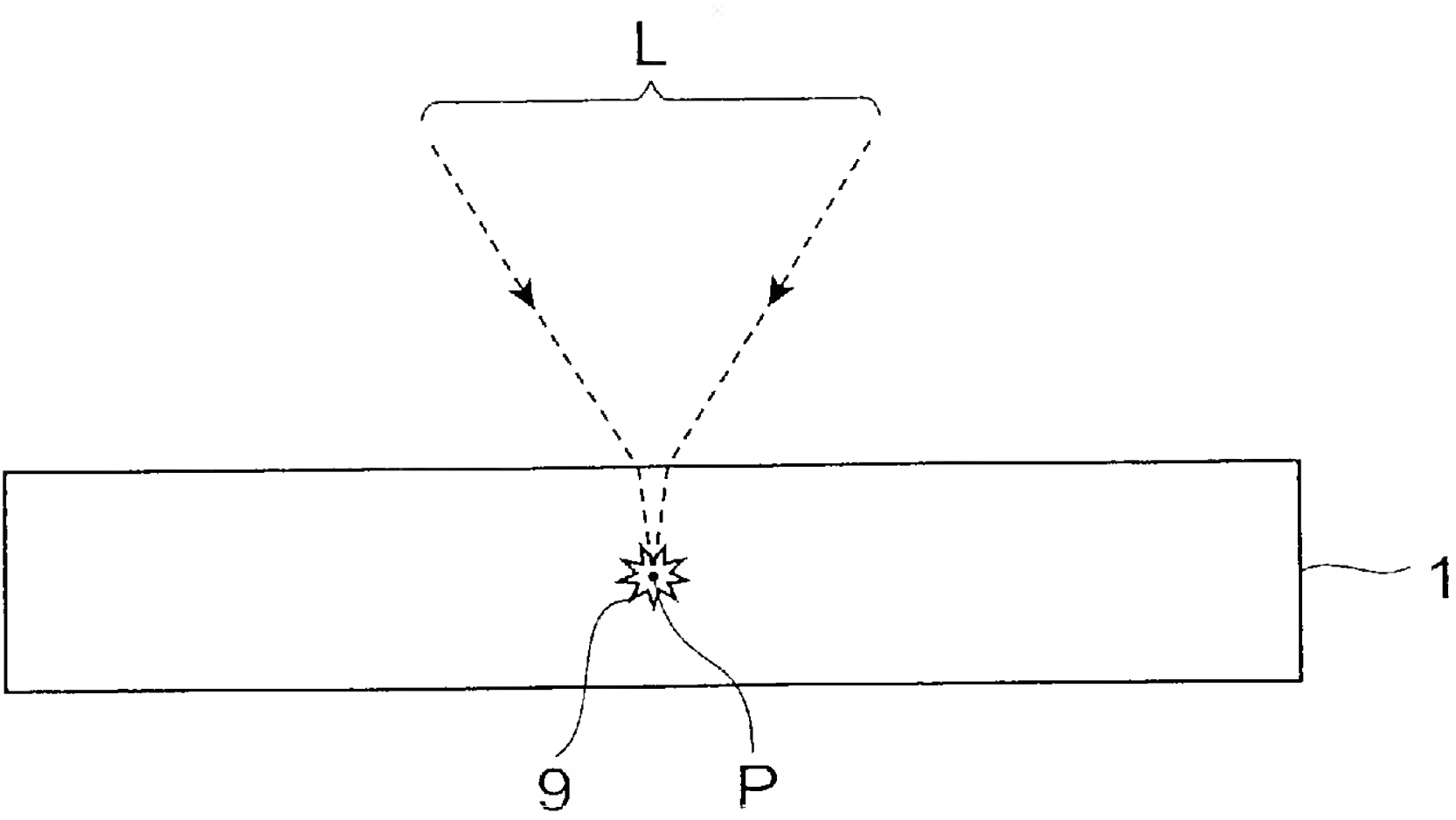
[図6]



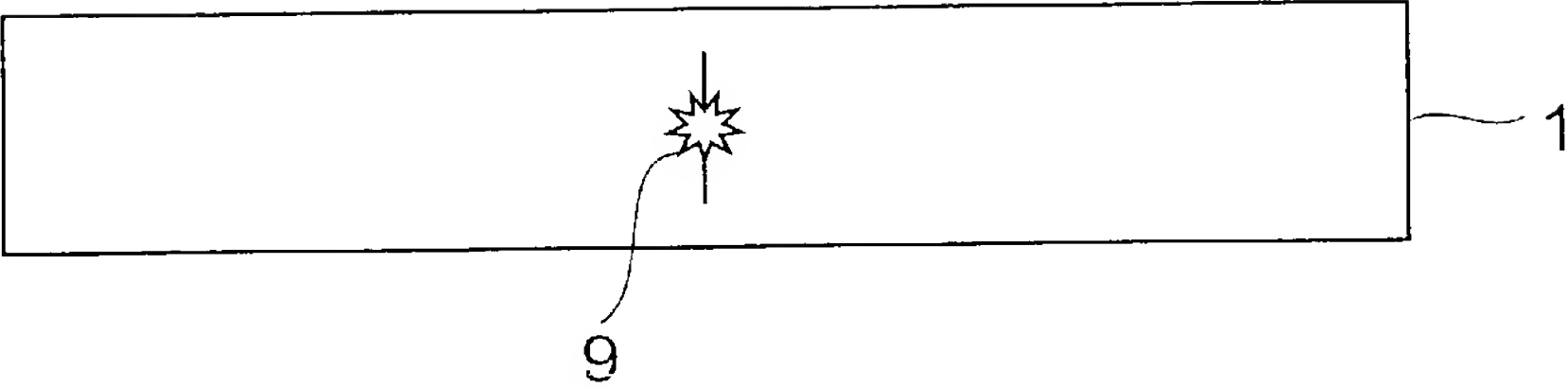
[図7]



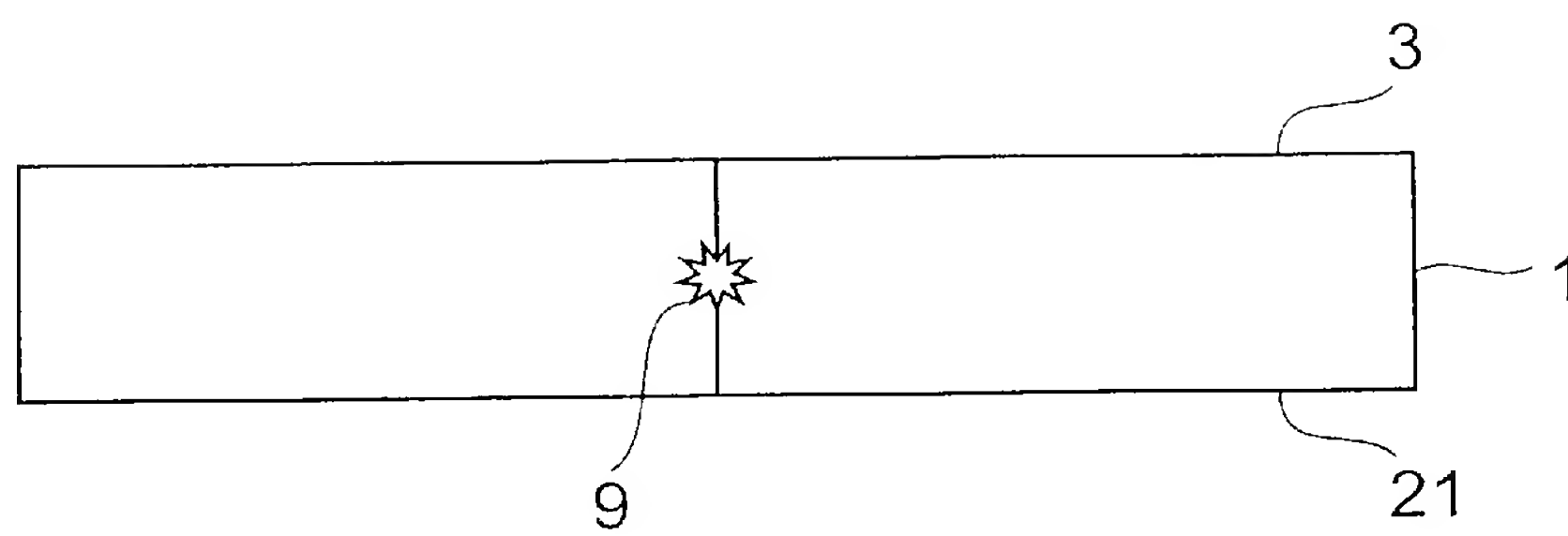
[図8]



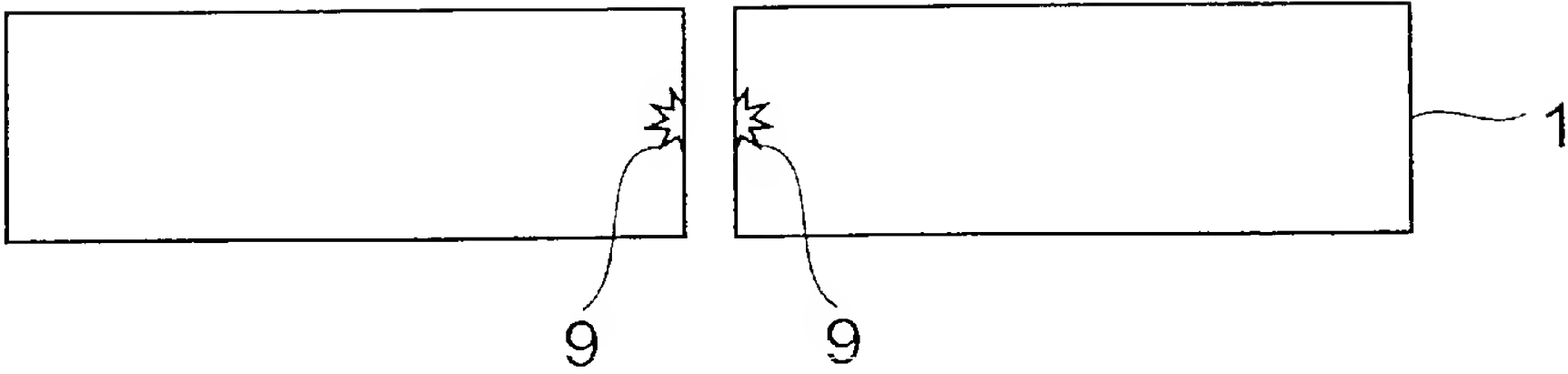
[図9]



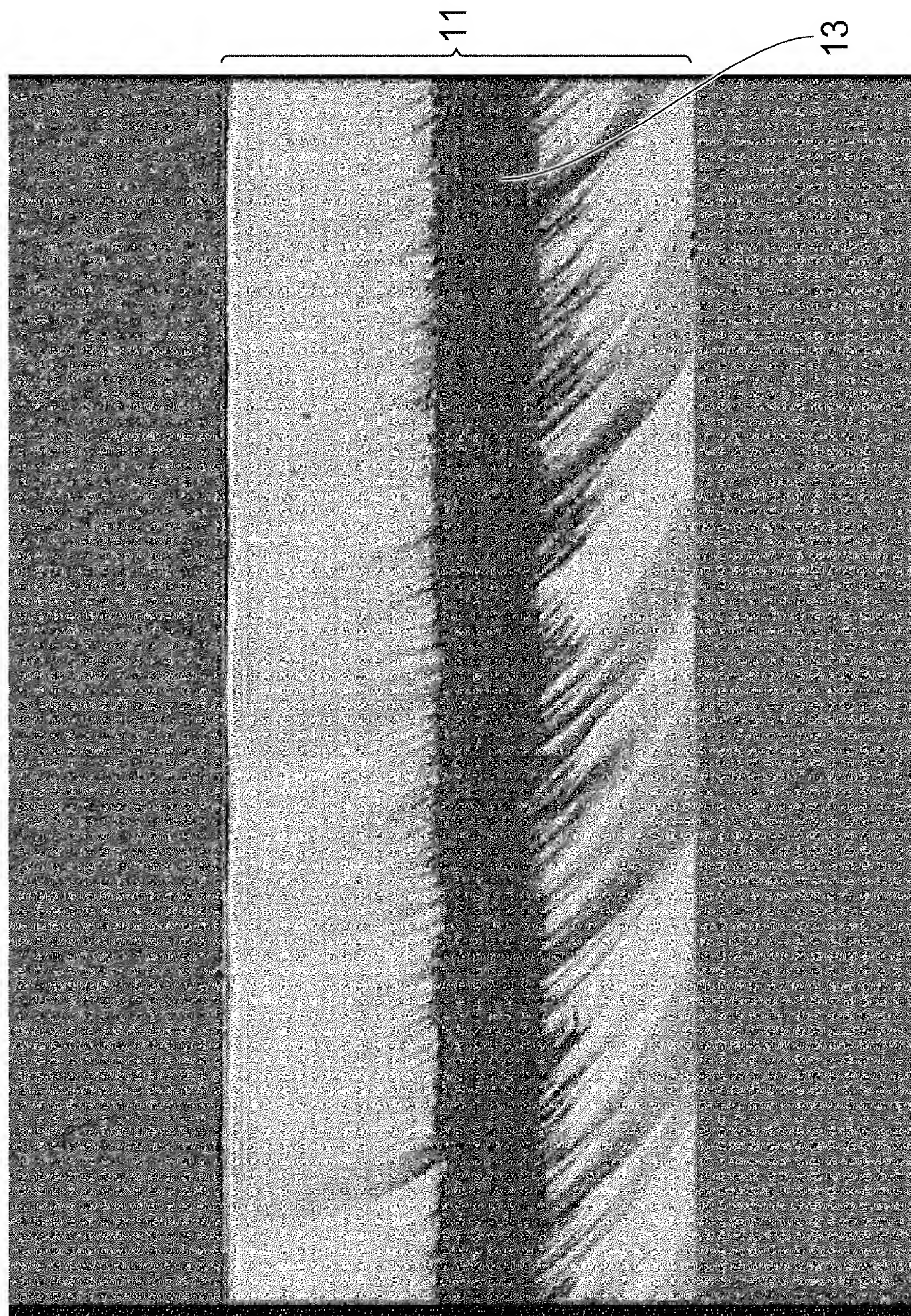
[図10]



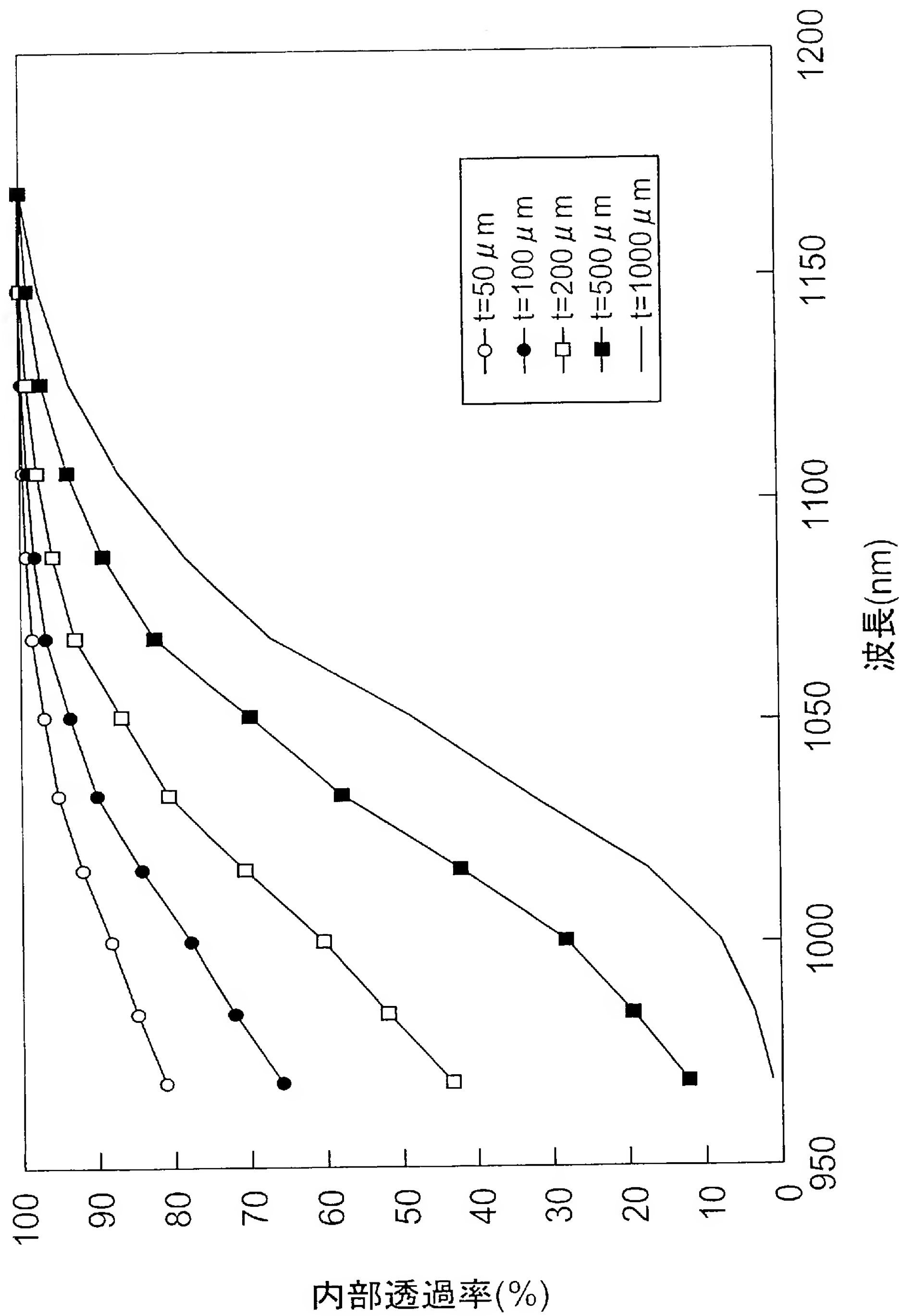
[図11]



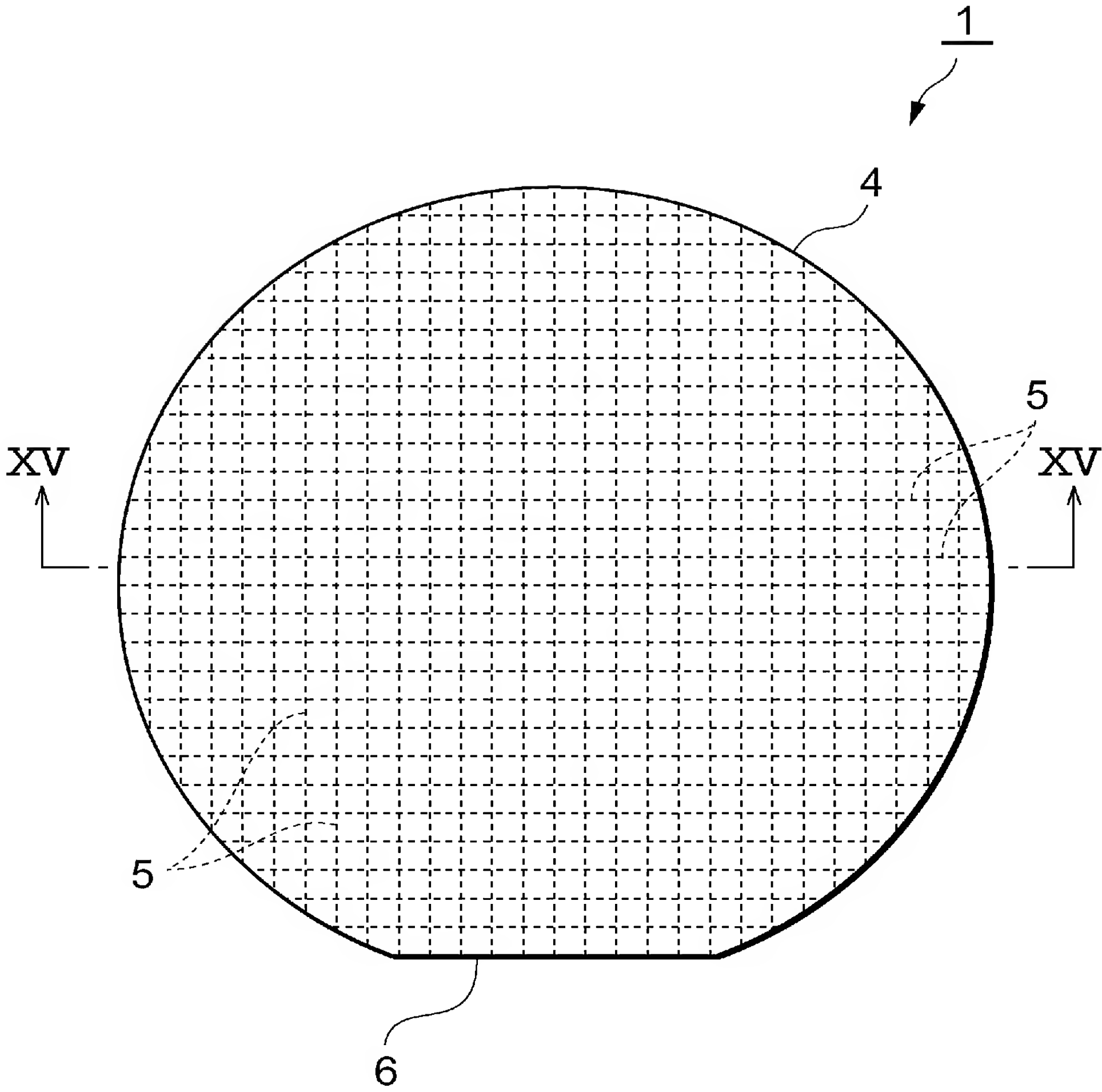
[図12]



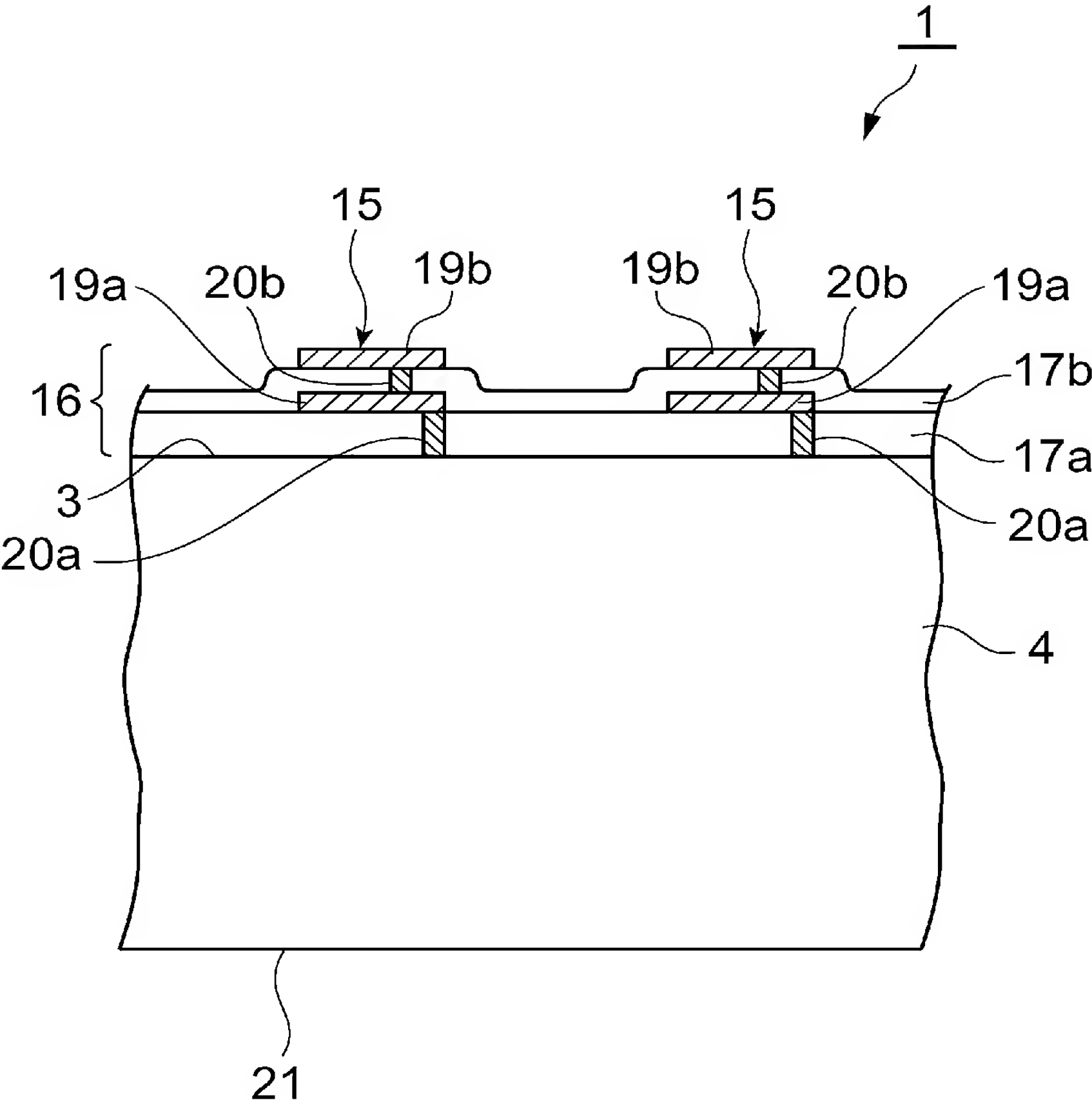
[図13]



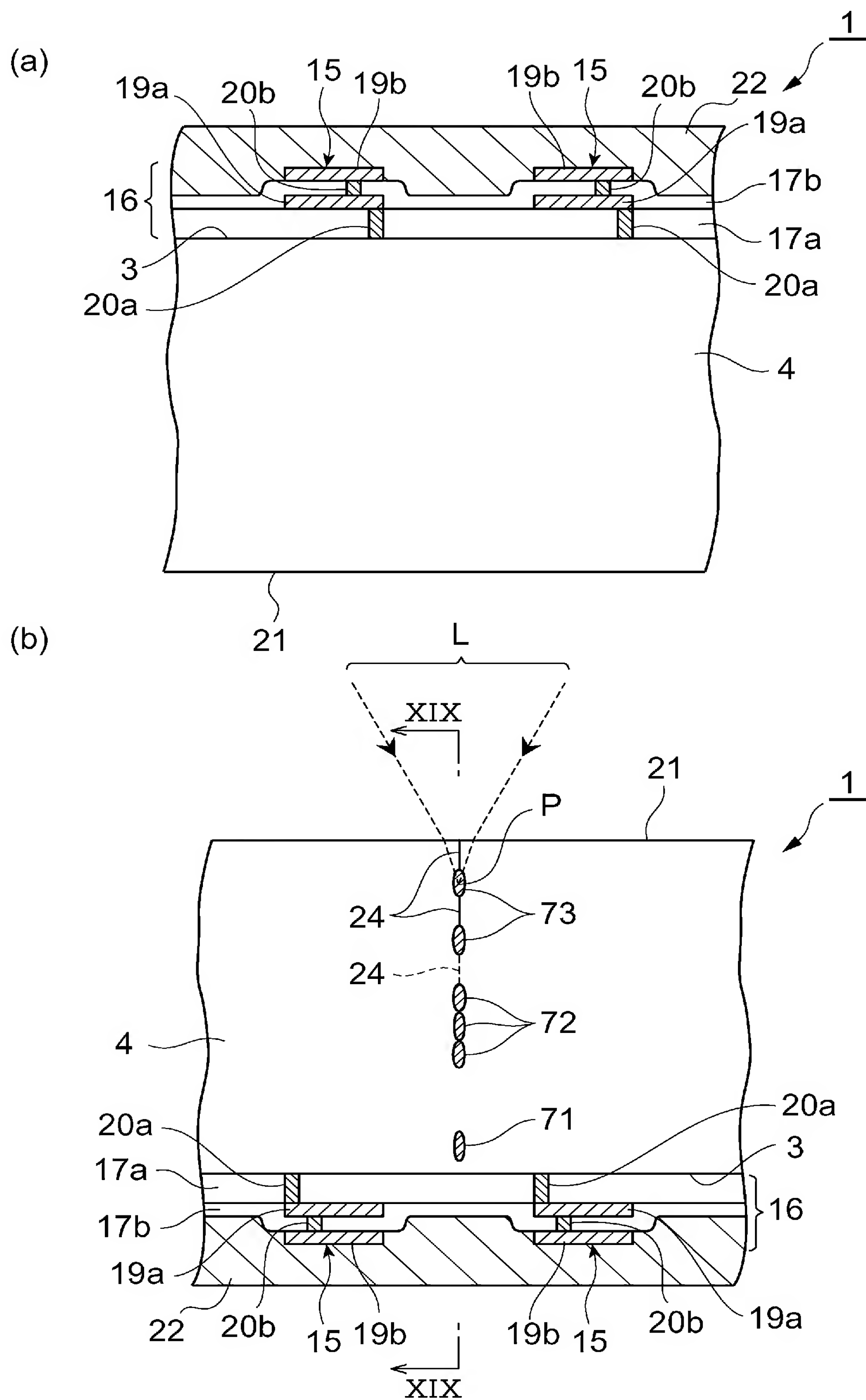
[図14]



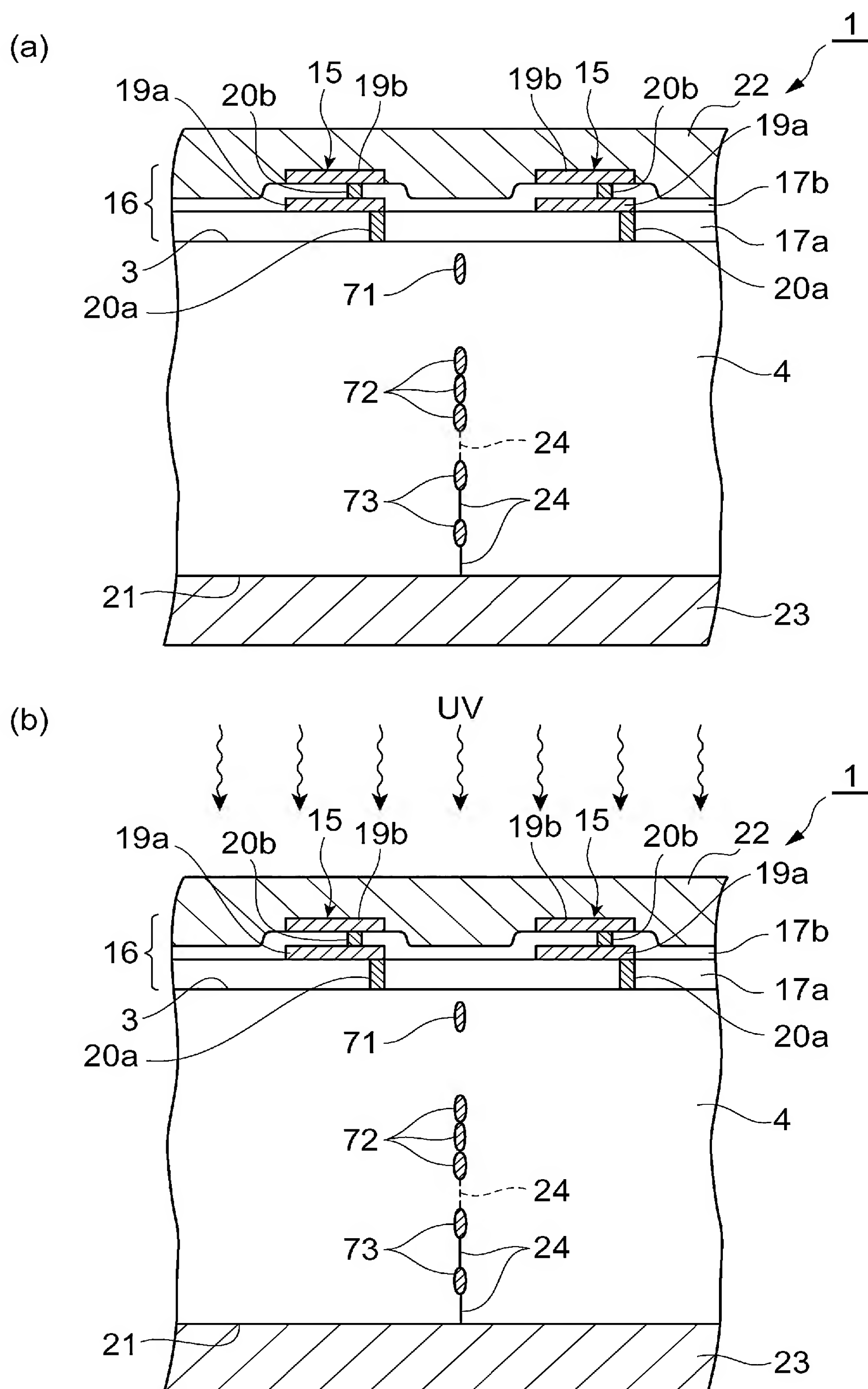
[図15]



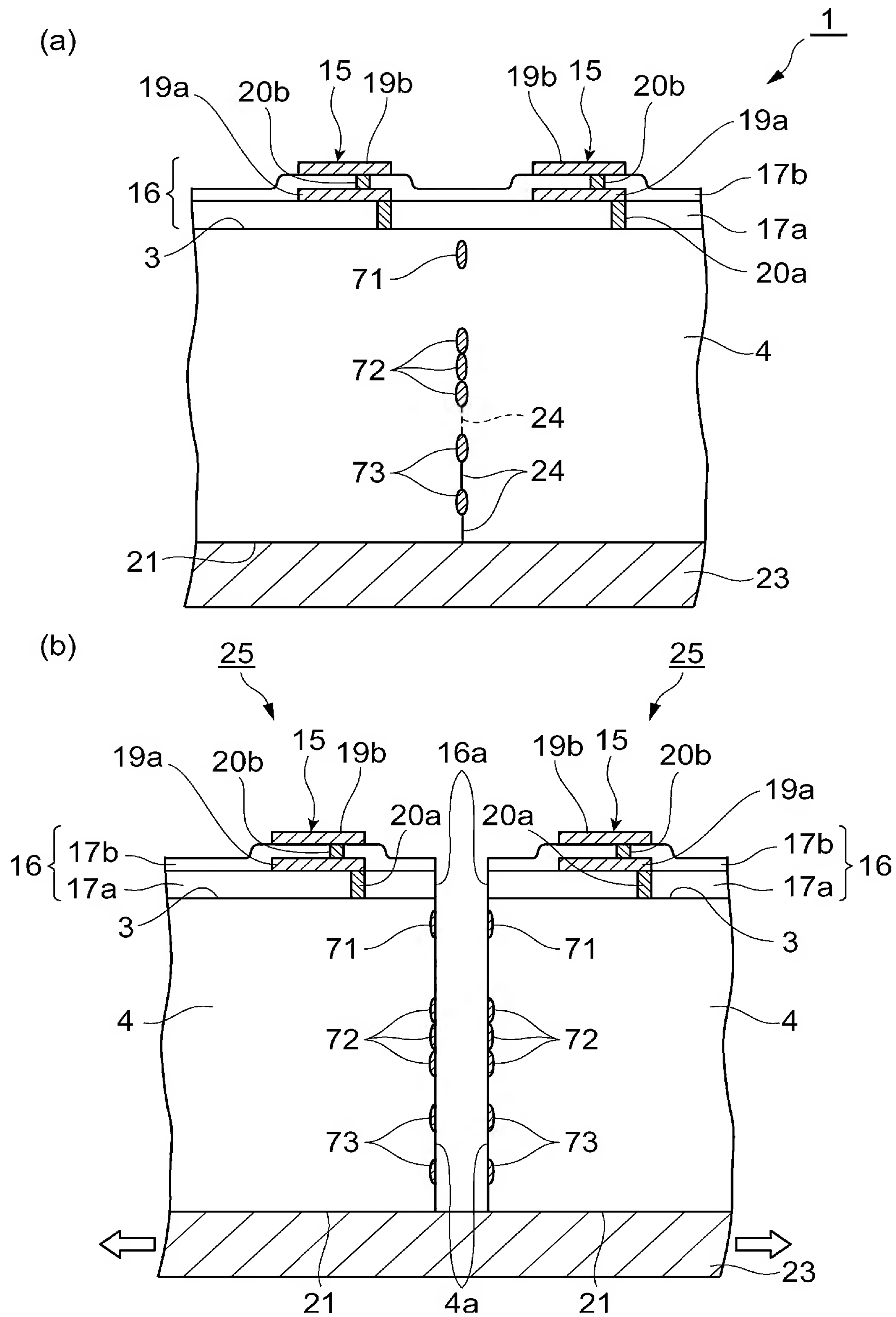
[図16]



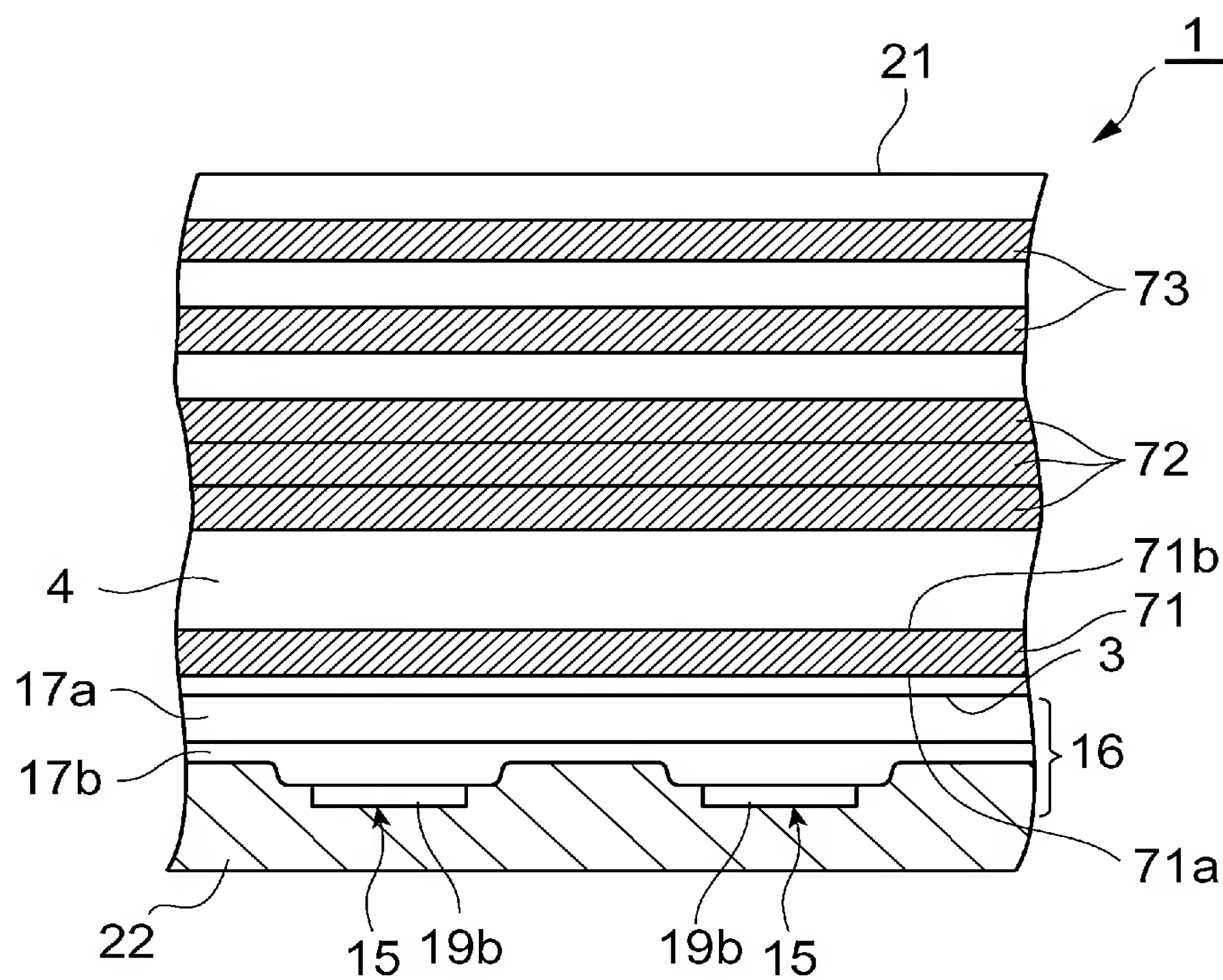
[図17]



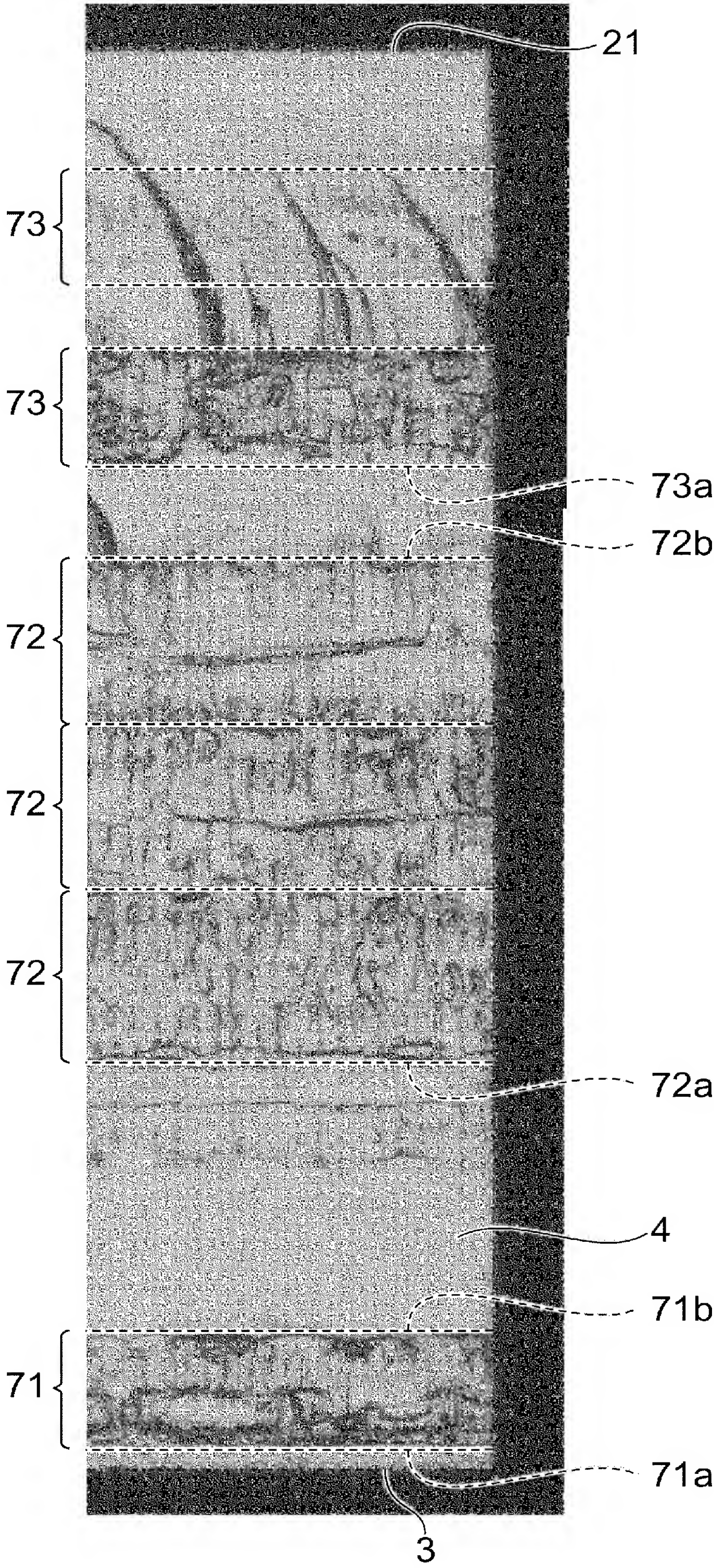
[図18]



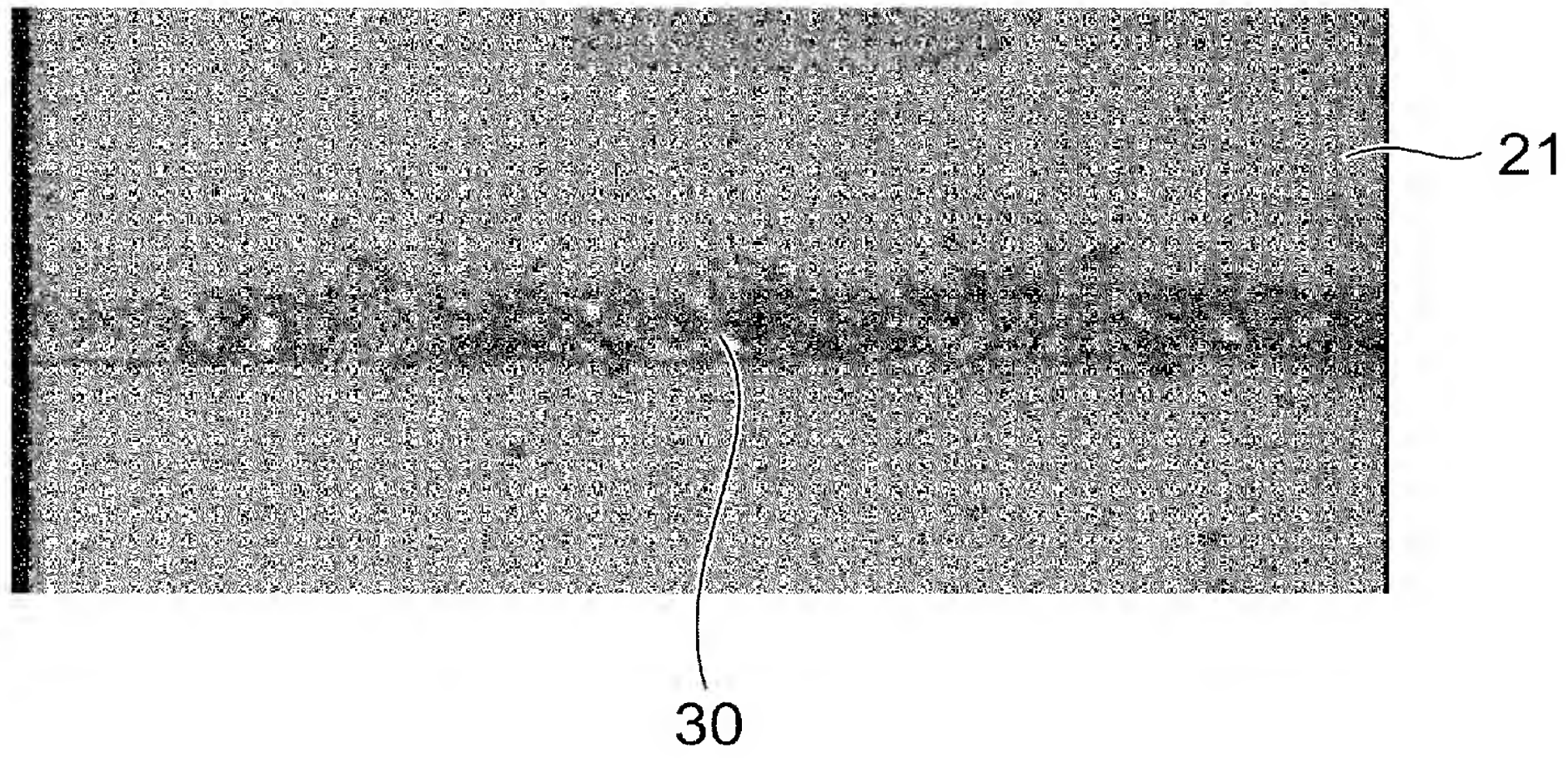
[図19]



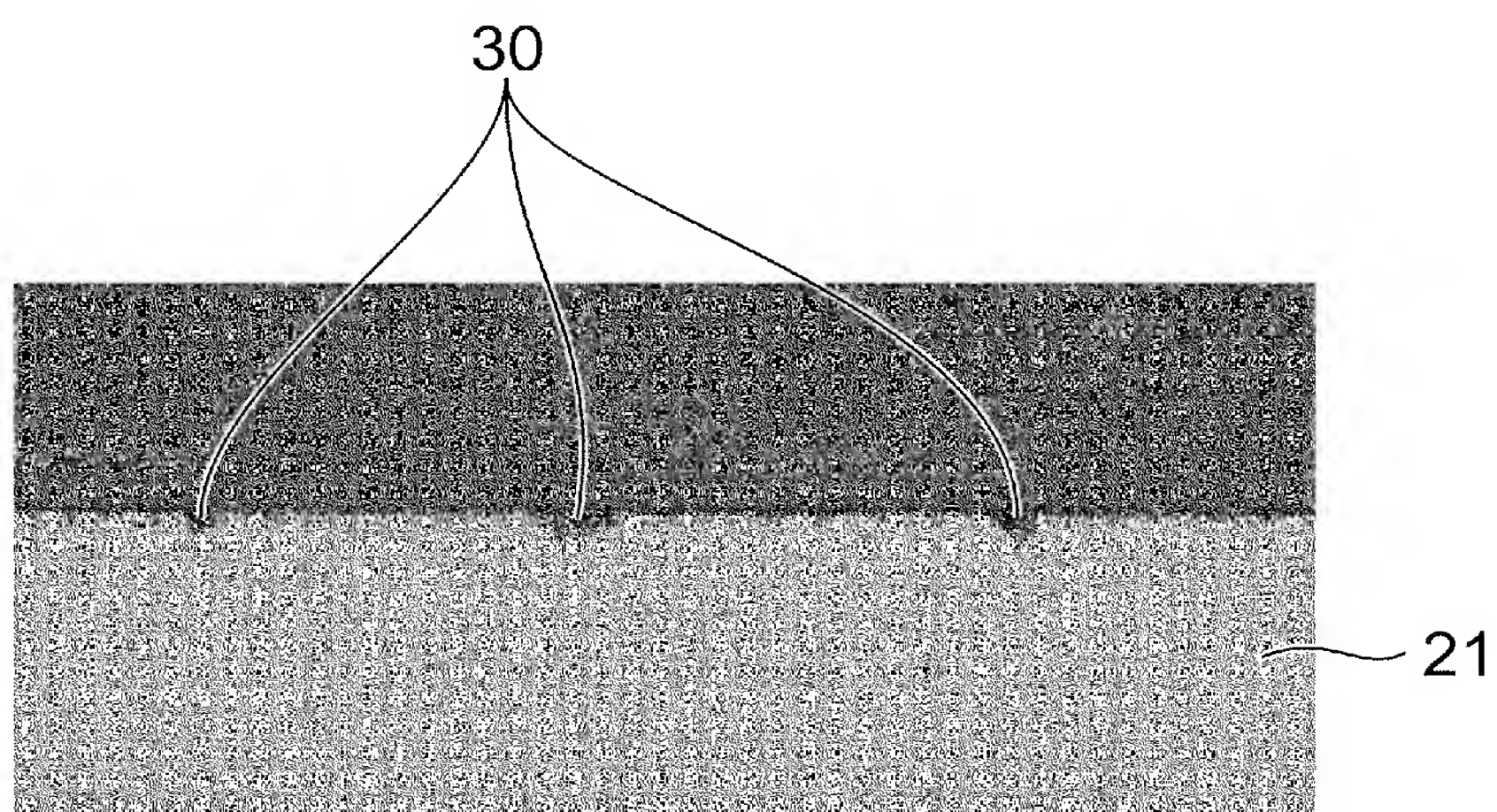
[図20]



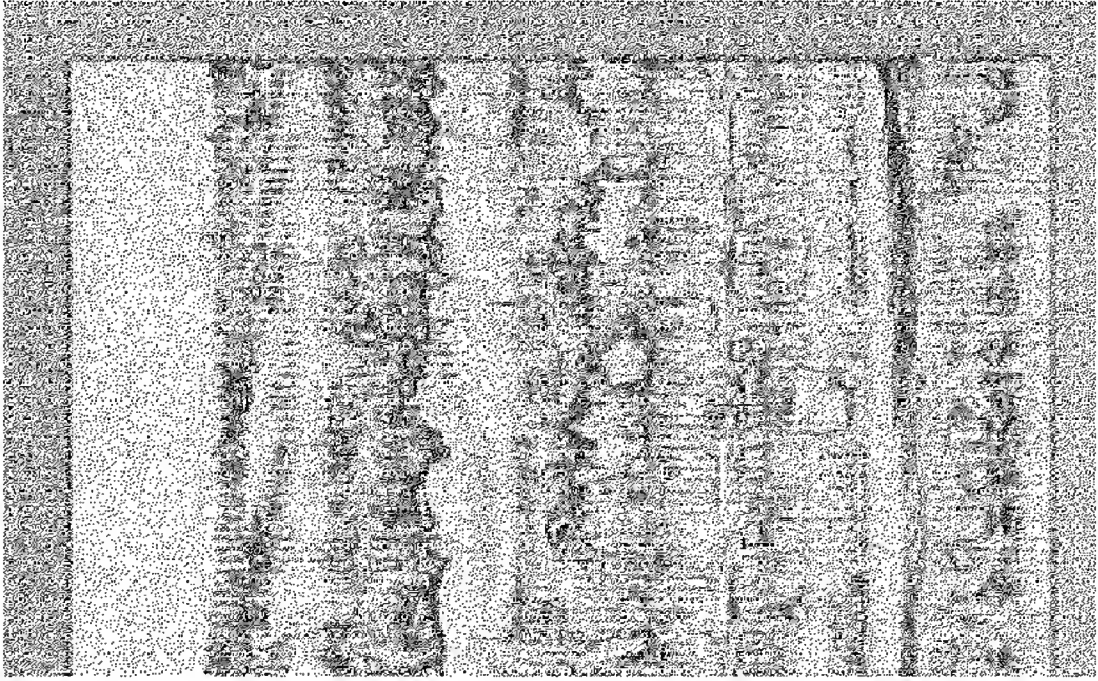
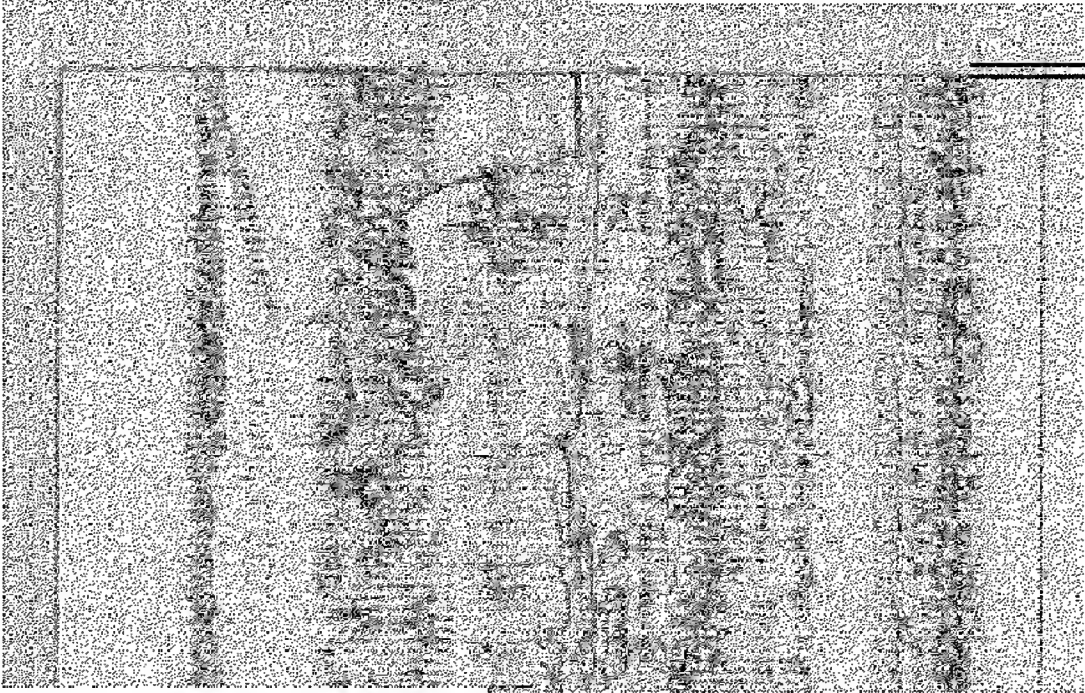
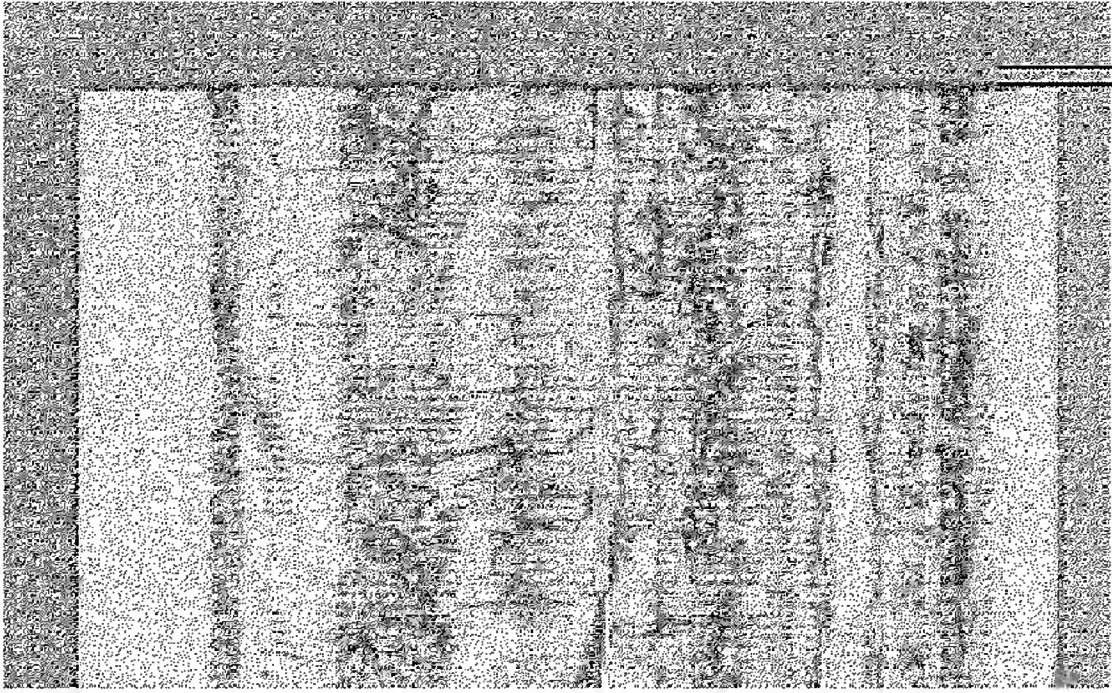
[図21]



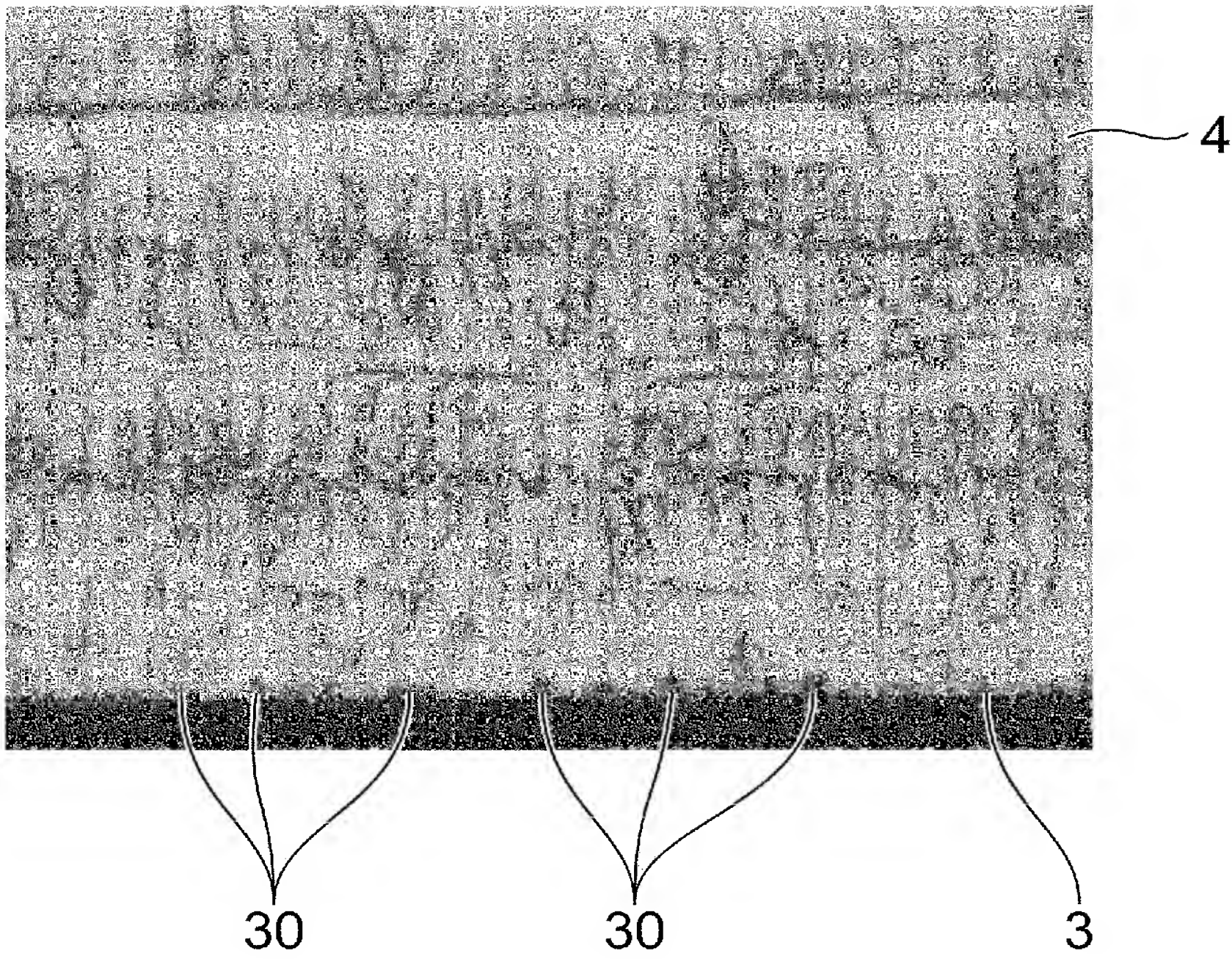
[図22]



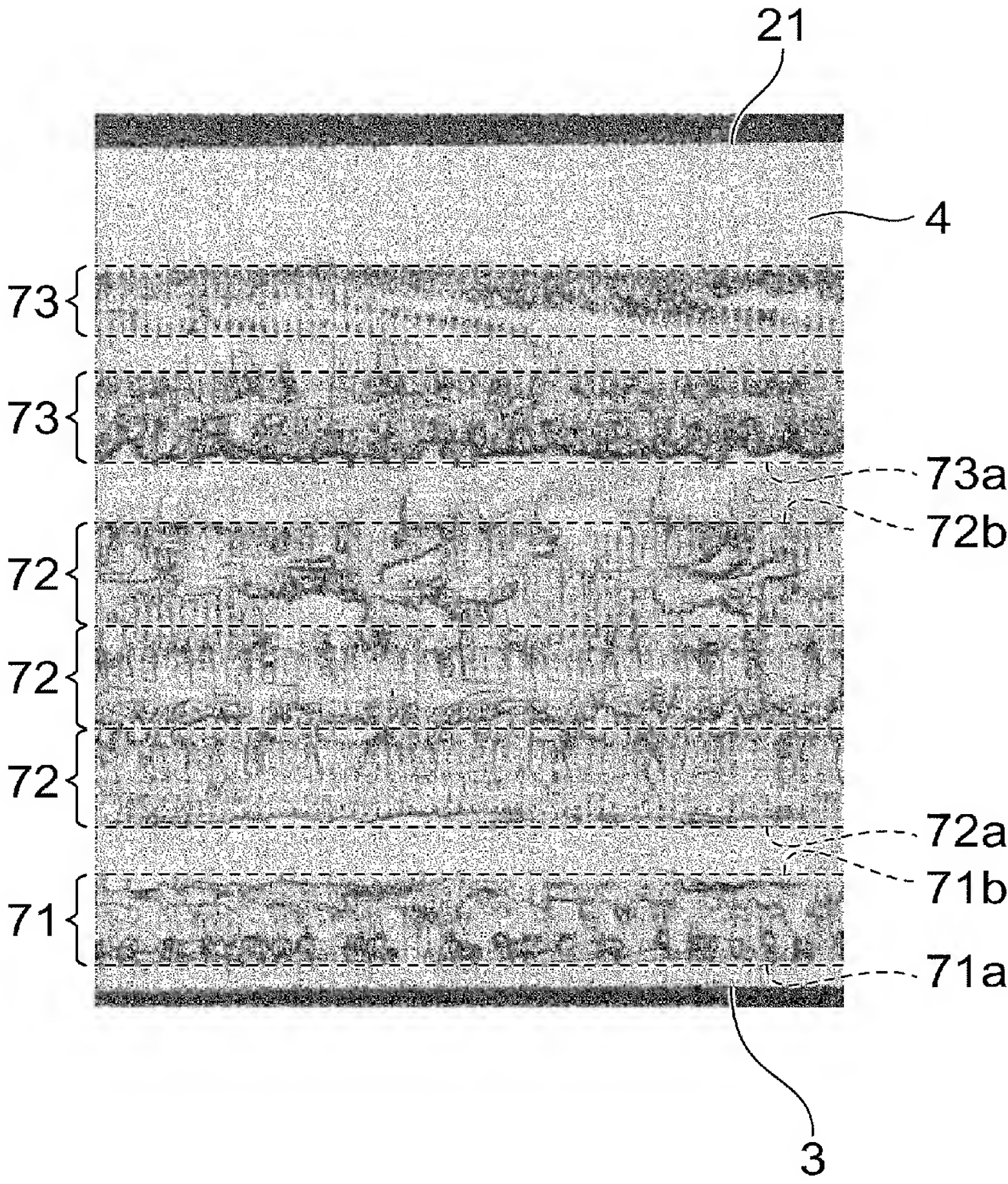
[図23]

集光点位置/エネルギー	261 μm /7.0 μJ		
品質改質領域の 裏面側端部位置/幅/表面側端部位置	253 μm /22 μm /18 μm		
切断面画像(×200倍) 厚さ:300 μm 上側:裏面(レーザー光入射面) 下側:表面(デバイス面)			
	265 μm /7.0 μJ	256 μm /22 μm /15 μm	
	275 μm /7.0 μJ		
	261 μm /7.0 μJ	253 μm /22 μm /18 μm	
スカート幅S	0 μm	2 μm	4 μm

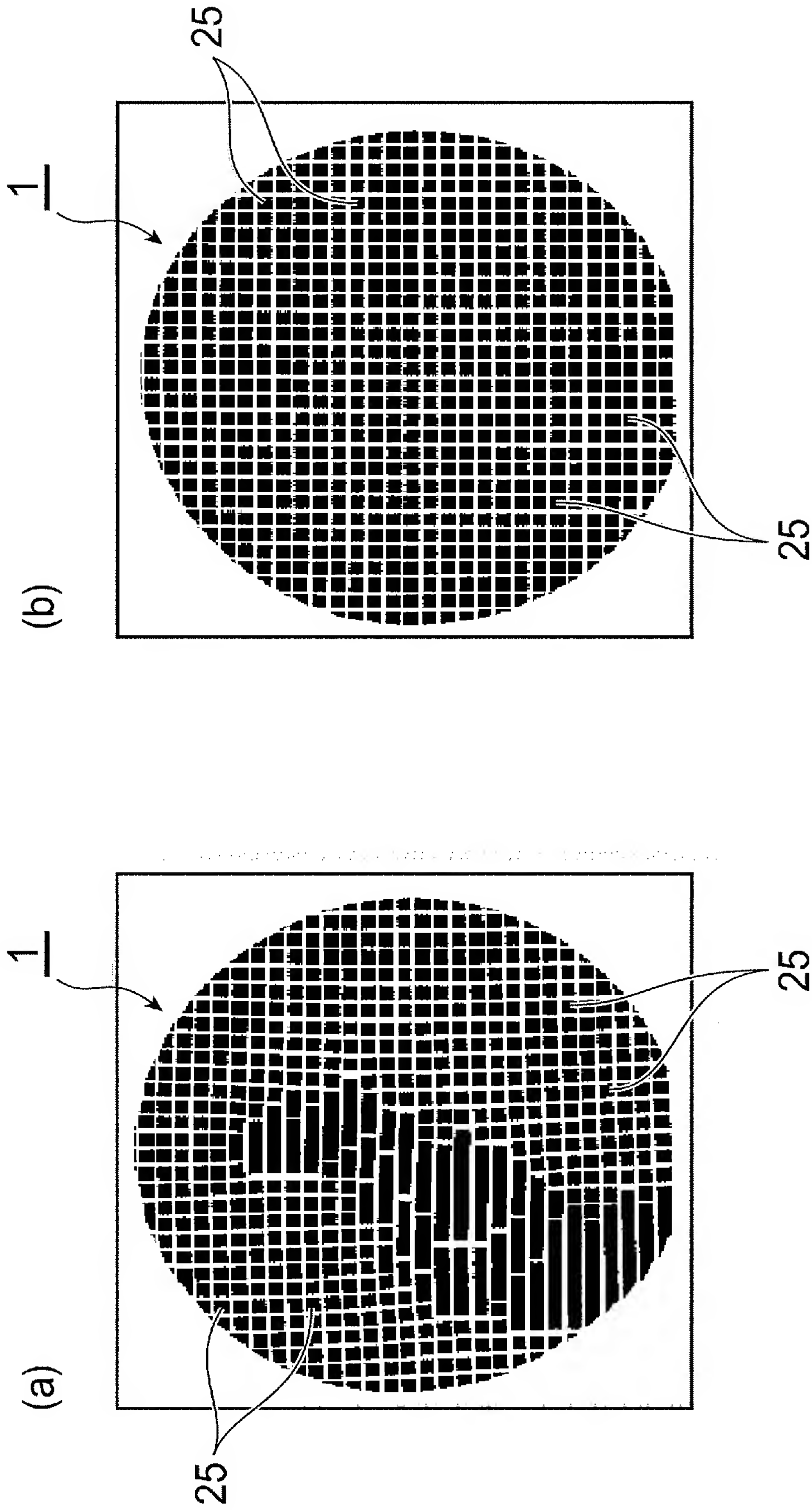
[図24]



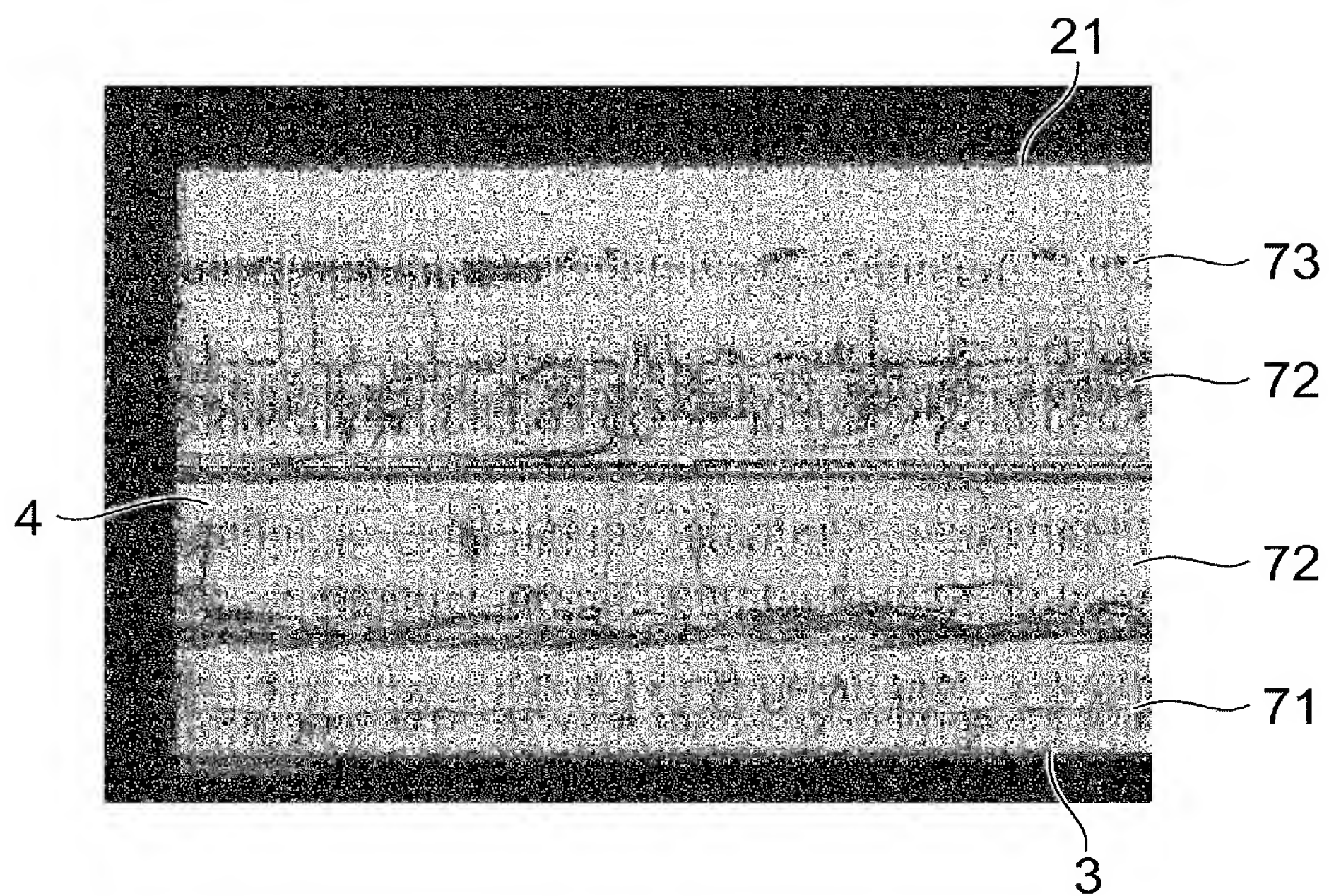
[図25]



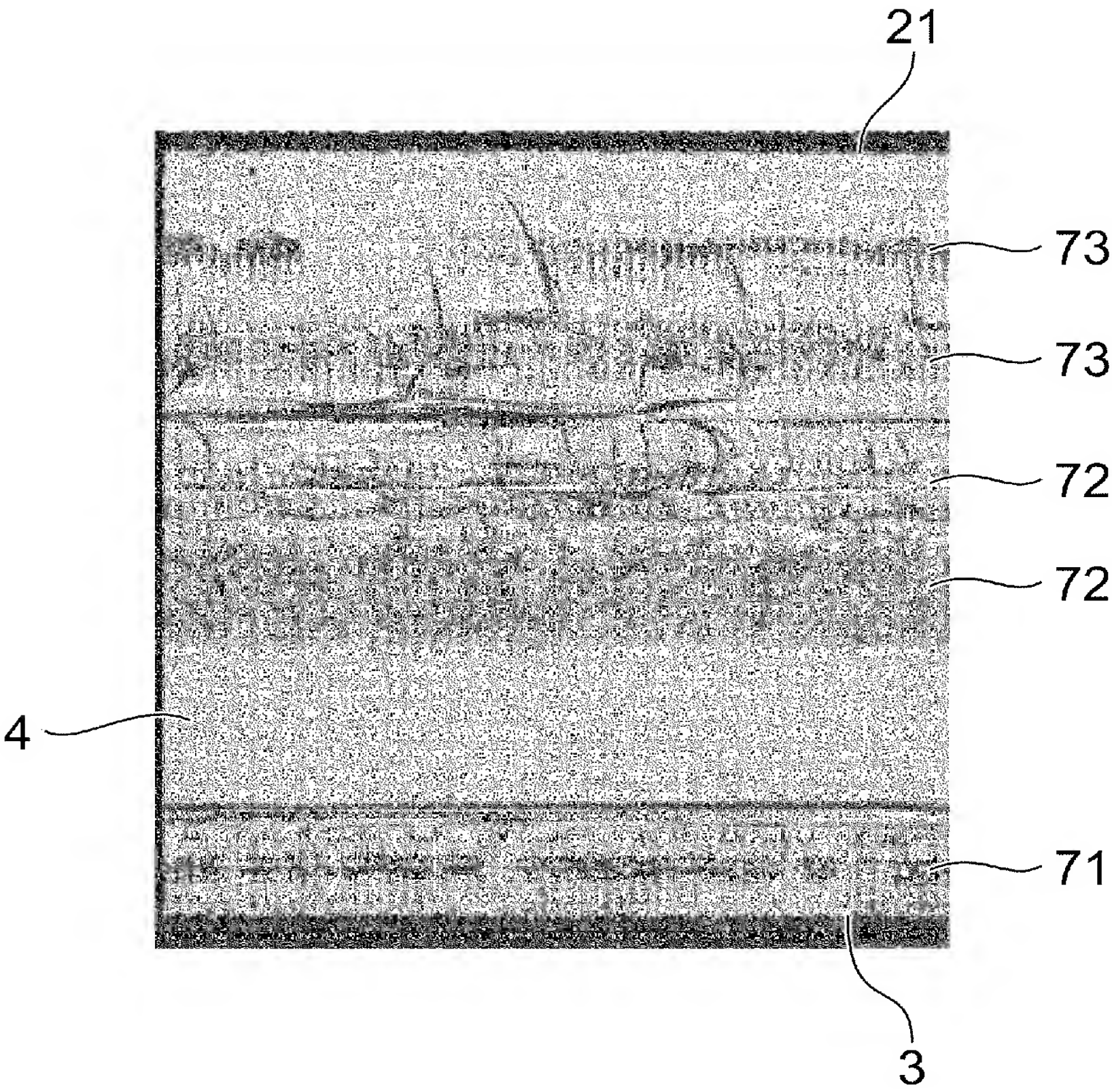
[図26]



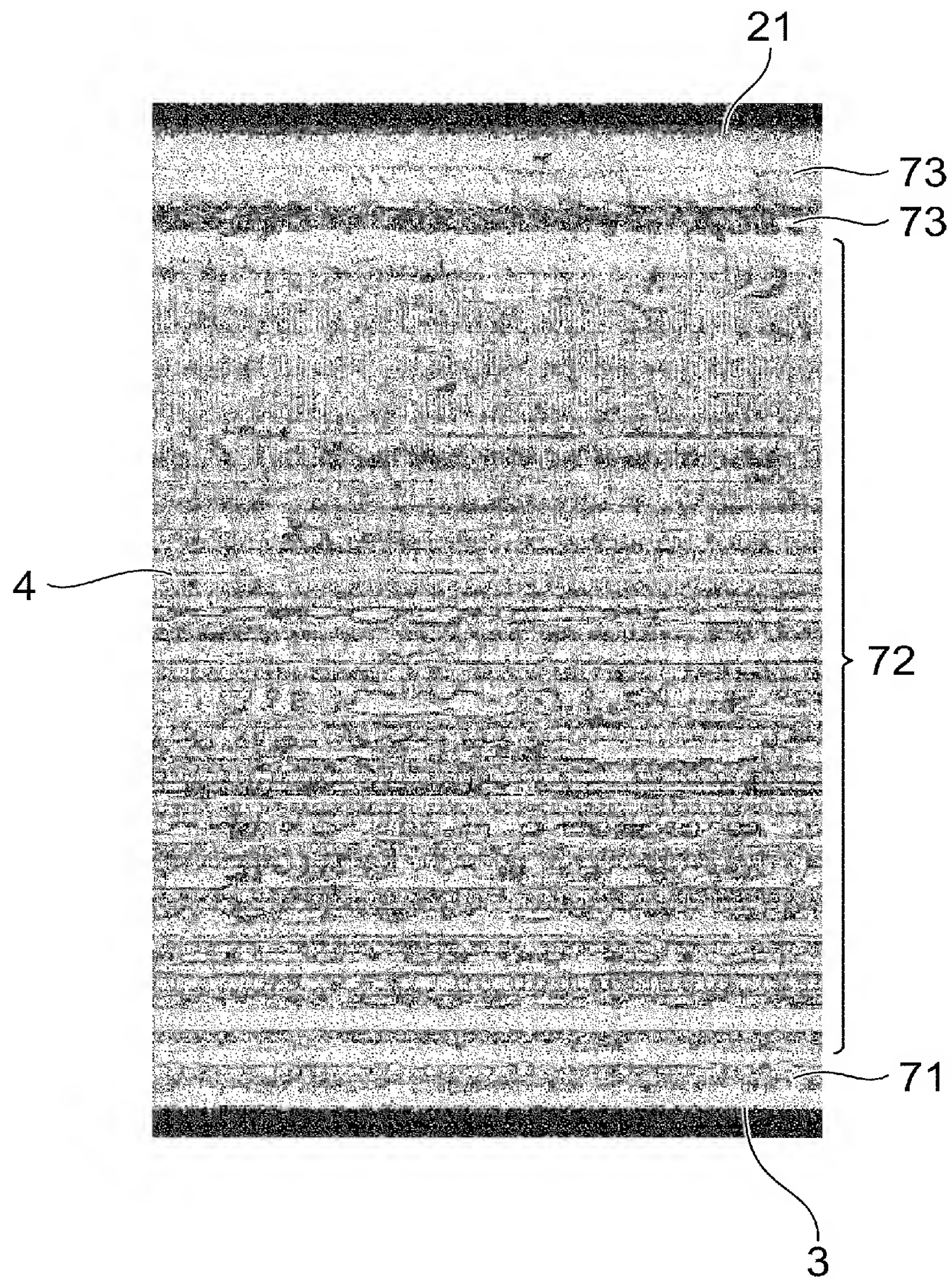
[図27]



[図28]



[図29]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/005554

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01L21/301, B23K26/00, 26/04, B28D5/00//B23K101:40

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01L21/301, B23K26/00, 26/04, B28D5/00//B23K101:40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2002/022301 A1 (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 21 March, 2002 (21.03.02), Page 99, line 6 to page 106, line 1; Figs. 89 to 99 & US 2004/2199 A1 & EP 1338371 A1	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

01 July, 2005 (01.07.05)

Date of mailing of the international search report

19 July, 2005 (19.07.05)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl.⁷ H01L21/301, B23K26/00, 26/04, B28D5/00 // B23K101:40

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl.⁷ H01L21/301, B23K26/00, 26/04, B28D5/00 // B23K101:40

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 5 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	WO 2002/022301 A1 (浜松ホトニクス株式会社) 2002.03.21, 第99頁第6行~第106頁第1行、図89-99 & US 2004/2199 A1 & EP 1338371 A1	1-19

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 1 . 0 7 . 2 0 0 5

国際調査報告の発送日

19. 7. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

小野田 達志

3 P

3 1 1 7

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 6 4